ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΔΟΜΟΚΟΥ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Χ. ΧΑΡΙΖΟΠΟΥΛΟΣ
MSc Γεωπόνος

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ
2013

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΔΟΜΟΚΟΥ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Χ. ΧΑΡΙΖΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Επιβλέπων:

ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Μέλη:

ΓΚΑΡΤΖΟΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ ΑΡΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

ΣΕΡΕΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Καθηγητής Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΖΑΓΓΑΝΑ ΕΛΕΝΗ, Επίκουρος Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Πατρών

ΚΟΣΜΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Η έγκριση της παρούσας διατριβής από την Εξεταστική Επιτροπή και το Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν προϋποθέτει και την αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, Άρθρο 202, παρ. 2).

Στη Βάσω και σε όσους στάθηκαν
δίπλα μου σ' αυτή την προσπάθεια…

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, μου ανατέθηκε ύστερα από απόφαση της Γενικής Συνέλευσης του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, με επιβλέποντα τον Καθηγητή κ. Γ. Σταμάτη και μέλη της Συμβουλευτικής Επιτροπής τον Καθηγητή κ. Ε. Γκάρτζο και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Α. Ψιλοβίκο.

Με την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής αισθάνομαι την υποχρέωση να εκφράσω τη βαθιά εκτίμηση και τις θερμές ευχαριστίες μου:

Στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γ. Σταμάτη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος, για τη συνεχή παρότρυνση, τις πολύτιμες και ουσιαστικές συμβουλές, την αμέριστη συμπαράσταση και την ηθική υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής.

Στον Καθηγητή κ. Ε. Γκάρτζο για τις παρατηρήσεις, τις συμβουλές του και τη συμπαράστασή του κατά την διάρκεια της διατριβής. Στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Α. Ψιλοβίκο για τις εύστοχες επισημάνσεις και συμβουλές του καθώς και τις ουσιώδεις συζητήσεις σε θέματα υδρολογίας, γεωμορφολογίας και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κ. Σερέλη για τις παρατηρήσεις, συμβουλές του και τις εποικοδομητικές συζητήσεις σε θέματα εδαφοχημικών αναλύσεων.

Στον Καθηγητή κ. Γ. Στουρνάρα για την καθοδήγησή του και την στήριξή του στην αρχή αυτής της προσπάθειας για την ανεύρεση του θέματος και της περιοχής έρευνας, καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις του σε θέματα Υδρογεωλογίας. Στην Επίκουρο Καθηγήτρια κα. Ε. Ζαγγανά για τις επισημάνσεις και τη στενή συνεργασία σε δημοσιεύσεις εργασιών που πραγματοποιήθηκαν και αφορούσαν την παρούσα διατριβή. Στον Καθηγητή κ. Κ. Κοσμά για τις διορθώσεις και τις ουσιαστικές διαπιστώσεις του σε θέματα εδαφοχημείας.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον Δρ. Μανώλη Ψωμιάδη για τη βοήθειά του σε θέματα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και την παροχή υλικού και μελετών χρήσιμων για τη συγγραφή της παρούσας διατριβής. Τους υποψήφιους Διδάκτορες Δ. Γαμβρουλά, Θ. Καραμουσαλή, Κ. Παρπόδη, Αθ. Κοντάρη και Δ. Μεγαδούκα για τη στήριξη, συνεργασία και τις χρήσιμες συζητήσεις στο εργαστήριο Ορυκτολογίας. Τον υποψήφιο Διδάκτορα Φ. Φιλιππίδη για την ανταλλαγή τεχνογνωσίας, λογισμικού, τις εποικοδομητικές συζητήσεις και τη φιλοξενία σε μια δύσκολη για εμένα περίοδο.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται:

Στη φίλη μου Β. Κόρδη Δημοσιογράφο για τη συμπαράσταση και στήριξη στις εργασίες πεδίου καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας καθώς και για τη βοήθεια της στην επιμέλεια του κειμένου.

Στο Γεωλόγο MSc Π. Αρβανίτη για τη βοήθειά του σε θέματα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, την παροχή στοιχείων και τις χρήσιμες επισημάνσεις του σε θέματα που αφορούσαν την περιοχή έρευνας. Στον Κ. Παπαδήμα Δασοπόνο MSc για τη στήριξή του σε θέματα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, για την παροχή μελετών και χρήσιμων για τη διατριβή στοιχείων. Στον Ι. Κυριάκου Χημικό MSc για τις πολύτιμες συμβουλές και επισημάνσεις του σε θέματα υδρογεωχημικών αναλύσεων. Στην Αθ. Κόρδη Ηλεκτρολόγο Μηχανικό για την ουσιώδη βοήθειά της σε θέματα λογισμικού.

Στους Διευθυντές μου Α. Τερζή Χημικό Μηχανικό και Δ. Δημητρέσσα Γεωλόγο για την παροχή στοιχείων, την υποστήριξη και την κατανόηση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Στον Παπαθανασίου Χρήστο Χημικό Μηχανικό για τις εποικοδομητικές συζητήσεις και το ανιδιοτελές ενδιαφέρον. Στους υπαλλήλους του Δήμου Δομοκού καθώς και στους Κ.

Μπακοστέργιο, Δ. Χαλεπλή, Κ. Καλαθά, Ν. Τσιακατάρα, Α. Καρακικέ και Τ. Λελετζή καλλιεργητές για τη βοήθεια τους κατά την περίοδο των δειγματοληψιών.

Στις βιβλιοθήκες του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και του ΙΓΜΕ.

Στους φορείς: πρώην Διευθύνσεις Εγγείων Βελτιώσεων Φθιώτιδας, Λάρισας, Καρδίτσας, Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας, Περιφέρεια Θεσσαλίας, ΙΓΜΕ, ΥΠΕΚΑ, ΕΣΥΕ.

Στην οικογένειά μου για την υπομονή και κατανόηση που επέδειξαν κατά τη χρονική διάρκεια εκπόνησης της διατριβής και σε όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, στην πραγματοποίησή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά τον Ακαδημαϊκό Ομότιμο Καθηγητή κ. Χ. Ζερεφό γιατί αποτέλεσε την πρωταρχική σπίθα αυτής της προσπάθειας και χωρίς την παρότρυνση και υποστήριξή του στα αρχικά στάδια δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση αυτής της διατριβής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διατριβή διερευνά τους παράγοντες γεωγενούς και ανθρωπογενούς προέλευσης που επηρεάζουν την ποιότητα των υπόγειων και επιφανειακών νερών καθώς και εδαφών στη λεκάνη του οροπεδίου Δομοκού. Προσδιορίζεται επιπλέον η γεωμορφολογία της περιοχής, καταγράφεται η επιφανειακή απορροή και υπολογίζονται οι παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου.

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα στο όρος Όθρυς, το οποίο χωρίζει τη θεσσαλική πεδιάδα από το Μαλιακό κόλπο και την κοιλάδα του Σπερχειού, μεταξύ των συντεταγμένων Xmin:362.126 m, Xmax:371.500 m στον άξονα Δ-Α και Ymin:4.316.293 m, Yax:4.341.943 m στον άξονα Ν-Β. Αποτελείται από τις υδρολογικές λεκάνες της Ξυνιάδας που αποτελεί τη λεκάνη απορροής της κεντρικής αποστραγγιστικής τάφρου της πρώην λίμνης Ξυνιάδος και της Σκοπιάς που αποτελεί τη λεκάνη απορροής του άνω ρου του Ενιππέα ποταμού. Η συνολική έκταση της περιοχής είναι 606,69 km^2 με περίμετρο 146,72 km, μήκος και πλάτος 39,79 km και 15,24 km αντίστοιχα. Η μέση κλίση του οροπεδίου είναι $10,23^0$ και το μέσο υψόμετρο 609 m, χαρακτηρίζοντας τη λεκάνη ως ημιορεινή. Το υψομετρικό ολοκλήρωμα είναι 24,26%, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η λεκάνη βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο (monadnock phase).

Η λεκάνη Ξυνιάδας με έκταση 167,90 km^2, περίμετρο 66,19 km και μέσο υψόμετρο 540 m, παρουσιάζει συνολικό αριθμό κλάδων υδρογραφικού δικτύου 539, με το συνολικό μήκος τους να φθάνει τα 340,7 km, ενώ η μορφή του μπορεί να χαρακτηριστεί κατά τόπους δενδριτική και παράλληλης μορφής. Η λεκάνη Σκοπιάς με έκταση 438,79 km^2 και περίμετρο 116,06 km, έχει συνολικό αριθμό κλάδων υδρογραφικού δικτύου 2.303 με συνολικό μήκος 1.253,5 km και σχήμα δενδριτικό. Οι αριθμοί των κλάδων όλων των τάξεων του υδρογραφικού δικτύου και για τις δύο λεκάνες εμφανίζουν σημαντική αρνητική απόκλιση από τις ιδανικές τιμές, σύμφωνα με τους νόμους του Horton, απέχοντας από την ιδανική ανάπτυξη που θα επέτρεπε τη βέλτιστη αποστράγγιση των λεκανών.

Η λεκάνη του οροπεδίου ανήκει στο σύνολό της στην Υποπελαγονική γεωτεκτονική ζώνη με κύριο χαρακτηριστικό τις μεγάλες οφιολιθικές μάζες. Η γεωλογική διάρθρωση περιλαμβάνει αλλουβιακές προσχώσεις, σχηματισμούς του νεογενούς, φλύσχη, ασβεστόλιθους, σχιστοκερατολιθική διάπλαση και οφιόλιθους. Επικρατέστεροι σχηματισμοί είναι οι τεταρτογενείς αποθέσεις και οι οφιόλιθοι με 26,87% και 25,59% αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό των κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε η άμεση ολοκλήρωση με συνδυασμό της υψομετρικής και της μεθόδου των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων. Η ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται για τη λεκάνη Ξυνιάδας σε 594,1 mm βροχής και η μέση ετήσια θερμοκρασία σε $14,8^oC$, ενώ για την λεκάνη Σκοπιάς σε 697,9 mm βροχής και $14,8^oC$ αντίστοιχα. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Thornthwaite, ανέρχεται σε 843,7 mm βροχής για τη λεκάνη Ξυνιάδας και 827,5 mm βροχής για τη λεκάνη Σκοπιάς. Οι τιμές του δείκτη ξηρασίας Lang και για τις δύο λεκάνες, εμφανίζουν το κλίμα τους μήνες από Ιούνιο έως και Αύγουστο ως υπέρξηρο, ενώ από τα ομβροθερμικά διαγράμματα διαπιστώνεται ότι η αρδευτική περίοδος του έτους και για τις δύο λεκάνες, διαρκεί από το τελευταίο δεκαήμερο του Απριλίου μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου.

Η ολική απορροή του οροπεδίου Δομοκού υπολογίστηκε από τις μετρήσεις της παροχής των ποταμών σε τρία σημεία, για 18 συνολικά μήνες παρατηρήσεων. Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται τον Ιανουάριο του 2010 και οι ελάχιστες το καλοκαίρι του ίδιου έτους. Από το οροπέδιο απορρέουν συνολικά σε ετήσια βάση 77.223.046,91 m^3 νερού από τα οποία τα 27.543.038,02 m^3 από τη λεκάνη Ξυνιάδας και τα 49.680.008,9 m^3 από τη λεκάνη Σκοπιάς.

Το υδρολογικό ισοζύγιο εκτιμήθηκε με το αδρομερές εννοιολογικό μοντέλο «ΖΥΓΟΣ». Στη λεκάνη Ξυνιάδας η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 62,7% των κατακρημνισμάτων, η απορροή το 22,5% και η κατείσδυση το 14,8%, ενώ το σφάλμα επί της ετήσιας τιμής

βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με χωρική ολοκλήρωση είναι 4,8% και είναι αποδεκτό. Στη λεκάνη Σκοπιάς η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 64,2% των κατακρημνισμάτων, η απορροή το 22,8% και η κατείσδυση το 13,0%. Το σφάλμα επί της ετήσιας τιμής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με χωρική ολοκλήρωση είναι 0,3% και θεωρείται αμελητέο.

Οι υδρογεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έρευνας ταξινομούνται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς σχηματισμούς. Στους υδροπερατούς ταξινομούνται όλοι οι ανθρακικοί σχηματισμοί και οι ανθρακικοί ορίζοντες που αναπτύσσονται εντός των σχιστολίθων. Αποτελούν λόγω της έντονης καρστοποίησής τους τον πλουσιότερο υδροφορέα της περιοχής. Στους ημιπερατούς ανήκουν όλα τα κοκκώδη πετρώματα, τα διερρηγμένα πετρώματα των οφιόλιθων, ενώ στους υδατοστεγείς σχηματισμούς ταξινομούνται οι άργιλοι και οι pillow λάβες του οφιολιθικού συμπλέγματος. Η κίνηση των υπογείων υδάτων στον προσχωματικό υδροφόρο έχει παρόμοια κατεύθυνση με αυτή των επιφανειακών, Β-ΒΑ στη λεκάνη Σκοπιάς και ΒΔ στη λεκάνη Ξυνιάδας.

Στα εδάφη της περιοχής επικρατούν τα χονδρόκοκκα κλάσματα της άμμου και είναι αμμοπηλώδη και πηλοαμμώδη, ελαφρώς αλκαλικά έως μέτρια αλκαλικά και επικρατούν οι οξειδωτικές συνθήκες με μέση τιμή δυναμικού οξειδοαναγωγής 286,7 mV. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κινείται σε χαμηλά επίπεδα με μέση τιμή 501 μS/cm, ενώ τα εδάφη είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα σε οργανική ουσία σε ποσοστό 62% λόγω των υψηλών ποσοστών άμμου που περιέχουν. Ποσοστό 32% των εδαφών χαρακτηρίζονται ασβεστούχα εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε $CaCO_3$. Τα εδάφη στην πλειοψηφία τους χαρακτηρίζονται ως φτωχά.

Οι υψηλές ολικές συγκεντρώσεις σιδήρου και μαγγανίου συνδέονται με την έντονη παρουσία των οξειδίων τους στα καστανοκόκκινα εδάφη της περιοχής, ενώ η ισχυρή ύπαρξη των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων είναι η αιτία της έντονης παρουσίας των Co, Ni και Cr. Οι υδατοδιαλυτές μορφές των Fe και Ni εμπλουτίζουν τα υπόγεια και επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας, σε αντίθεση με το Pb και το Co που λόγω του δυσκίνητου χαρακτήρα τους εμφανίζονται μόνο σε ίχνη. Οι υψηλές τιμές pH και $CaCO_3$ της περιοχής έρευνας, μειώνουν την κινητικότητα και βιοδιαθεσιμότητα των μεταλλικών ιχνοστοιχείων και είναι η αιτία της μικρής ποσοστιαίας συμμετοχής των υδατοδιαλυτών μορφών επί των ολικών.

Τα βαρέα ιχνοστοιχεία Fe, Mn, Pb και Co κυριαρχούν στις ανταλλάξιμες μορφές, ενώ οι συνδεδεμένες στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις μορφές, εμφανίζουν υψηλές τιμές στα Fe, Mn, Ni, Cu και Co. Αποδίδονται στην τάση των συγκεκριμένων μετάλλων να συνδέονται με τα οξείδια Fe και Mn, τις ανθρακικές ενώσεις και να προσροφώνται στην οργανική ύλη. Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφές παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις Fe, Mn, Co, Ni και Cr, διαπίστωση που συνδέεται με την ισχυρή παρουσία των μετάλλων αυτών στα μητρικά πετρώματα.

Η σύγκριση των λεκανών εμφανίζει στη λεκάνη Ξυνιάδας λόγω της πρώην λίμνης υψηλότερες τιμές οργανικής ουσίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας και Ni και Cr λόγω της παρουσίας των οφιόλιθων. Στη λεκάνη Σκοπιάς οι τιμές Fe, Mn και Zn είναι υψηλότερες εξαιτίας της παρουσίας των μετάλλων σε εδάφη που έχουν προέλθει από την αποσάθρωση ασβεστόλιθων, σε ιζηματογενή πετρώματα, σε σχιστόλιθους και αργιλώδη ιζήματα.

Η στατιστική ανάλυση προσδιορίζει την ταυτόχρονη παρουσία Fe και Zn στα μητρικά πετρώματα, τη σύνδεση του Cu με τα οξείδια Mn στα βασικά πετρώματα και την προέλευση των Ni, Cr, Co και Pb από το πλούσιο οφιολιθικό γεωλογικό υπόβαθρο. Τα εδάφη παρουσιάζουν επιβάρυνση γεωγενούς προέλευσης σε Co, Ni και Cu, καθώς ξεπερνούν το μέγιστο αποδεκτό όριο ρύπανσης εδαφών της «The New Dutchlist». Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η εφαρμογή αγροχημικών δρουν σε μικρό βαθμό (<0,01%) και αθροιστικά στις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα εδάφη της περιοχής.

Στα υπόγεια νερά των χαλαρών αποθέσεων τα Ca^{+2} και Mg^{+2} είναι τα επικρατούντα κατιόντα και τα HCO_3^-, SO_4^{2-} και NO_3^- είναι τα ανιόντα που υπερισχύουν. Η παρουσία των

NO_3^- οφείλεται στη χρήση λιπασμάτων, ενώ τα νερά αυτά παρουσιάζουν υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα και T.D.S. λόγω της διάλυσης των ιζηματογενών πετρωμάτων. Τα νερά από τους σχηματισμούς του φλύσχη έχουν υψηλότερη σκληρότητα και επικρατέστερα κατιόντα τα Ca^{+2} και Na^+ και ανιόντα τα HCO_3^- και NO_3^- λόγω της χρήσης λιπασμάτων. Σε αντίθεση, τα νερά από ασβεστόλιθους εμφανίζουν χαμηλότερη σκληρότητα και ηλεκτρική αγωγιμότητα με καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, ενώ τα νερά από οφιόλιθους έχουν επικρατέστερα κατιόντα τα Mg^{+2} και ακολουθούν τα Ca^{+2} και ανιόντα τα HCO_3^-, NO_3^- και τα SO_4^{2-}.

Η σύγκριση της υγρής με την ξηρή περίοδο εμφανίζει τις τιμές των υδροχημικών παραμέτρων αυξημένες κατά την ξηρή περίοδο, γεγονός που αποδίδεται στην ανάμιξη νερών από πιο μεγάλα βάθη με την κυκλοφορία του νερού στις υδρογεωτρήσεις. Η σύγκριση μεταξύ των λεκανών εμφανίζει στη λεκάνη Ξυνιάδας επικρατούντα κατιόντα τα Ca^{2+} και Na^+ και ανιόντα τα HCO_3^- και SO_4^{2-} λόγω του λιμναίου περιβάλλοντος και της τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων από ανθρακικούς και οφιολιθικούς σχηματισμούς. Οι υψηλότερες τιμές των Na^+, Cl^-, HCO_3^-, Mn αποδίδονται στην ύπαρξη εβαποριτικών στρωμάτων και του Mg λόγω της παρουσίας των οφιόλιθων. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου και NO_3^- με υψηλότερες τις τιμές των NH_4^+ αποδίδονται στην αποδόμηση της οργανικής ύλης. Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης διαπιστώνονται θερμοκρασίες (>21,0^{o}C), υποδηλώνοντας την κυκλοφορία θερμών νερών.

Στη λεκάνη Σκοπιάς τα κατιόντα που επικρατούν είναι τα Ca^{2+} και Mg^{2+} και ανιόντα τα HCO_3^- και NO_3^-. Η παρουσία των NO_3^- συνδέεται με την εφαρμογή λιπασμάτων, ενώ των υπόλοιπων στοιχείων είναι γεωγενούς προέλευσης. Οι παρατηρούμενες αυξητικές τάσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποδίδονται στη διαρροή αστικών λυμάτων, ενώ οι θερμοκρασίες των νερών κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα λόγω της τροφοδότησης τους με νερά των καρστικών μαζών της Όθρυος. Οι δύο λεκάνες χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλές τιμές TDS, υψηλές τιμές Fe λόγω της παρουσίας των οξειδίων του και Ni και Cr εξαιτίας της παρουσίας υπερβασικών πετρωμάτων, με επικρατούσα μορφή του χρωμίου να είναι το υδροξυ-σύμπλοκο [$Cr(OH)_3$ aq.] του τρισθενούς χρωμίου.

Οι υπόγειοι υδροφορείς στην περιοχή έρευνας έχουν επικρατέστερο υδροχημικό τύπο τον Ca-Mg-HCO_3, και είναι φρέσκα νερά που έχουν γρήγορο εμπλουτισμό και ανανέωση. Είναι σε ποσοστό 42% μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης με ακαθόριστο υδροχημικό τύπο. Η υδροχημική εξέλιξη των υπολοίπων νερών καθορίζεται από τις φάσεις Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3, Ca-Cl και Mg-Cl. Η υδρογεωχημική προσομοίωση έδειξε ότι τα κύρια ορυκτά των πετρωμάτων της περιοχής μελέτης που διαλύονται στα υπόγεια νερά είναι αλίτης (NaCl), ασβεστίτης ($CaCO_3$), δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$) και ανυδρίτης ($CaSO_4{\cdot}2H_2O$). Τα νερά εμφανίζονται ακόρεστα σε γύψο και ανυδρίτη ($CaSO_4{\cdot}2H_2O$), σε φθορίτη (CaF_2), σε σιδερίτη ($FeCO_3$) και σε μαγνησίτη ($MgCO_3$). Αντιθέτως είναι κορεσμένα σε ασβεστίτη ($CaCO_3$), σε αραγωνίτη ($CaCO_3$) και σε δολομίτη ($CaMg(CO_3)_2$).

Η παραγοντική ανάλυση υποδεικνύει τη ρύπανση των περισσότερων πηγών από την έλλειψη αποχετευτικού δικτύου των οικισμών και τη χρήση λιπασμάτων και αποκαλύπτει την ύπαρξη εβαποριτικής κρούστας που τροφοδοτεί τα υπόγεια νερά της περιοχής της πρώην λίμνης με Na, Mn, Cl και HCO_3^-. Επιπλέον συνδέει την παρουσία των NO_3^-, NH_4^+ και K^+ στα υπόγεια νερά με τη χρήση λιπασμάτων και των F^-, PO_4^{3-} και Ni με την ύπαρξη ηφαιστειογενών και υπερβασικών πετρωμάτων. Η ανάλυση κατά ομάδες ομαδοποιεί τους υπόγειους υδροφόρους βάσει του ρυπαντικού τους φορτίου και της κοινής τροφοδοσίας τους από οφιολιθικούς και ανθρακικούς σχηματισμούς.

Οι συγκεντρώσεις Ca^{2+}, NO_3^-, Br^- και των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Zn, Cd, Ni και Cr παρουσιάζουν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε., ενώ η κατά Richards ταξινόμηση παρουσιάζει τα υπόγεια νερά με μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο

αλατότητας. Τα νερά γενικά θεωρούνται ακατάλληλα για ύδρευση και κατάλληλα για άρδευση.

Η σύγκριση των χωρικών κατανομών εδαφών και υπογείων νερών υποδεικνύει σαν πηγή προέλευσης Fe στα υπόγεια νερά την παρουσία των οξειδίων του στα εδάφη και αυτή του Mn τα εβαποριτικά στρώματα στην περιοχή της πρώην λίμνης. Σε αντίθεση η απουσία των Cu και Co αποδίδεται στο δυσκίνητο χαρακτήρα των μετάλλων, ενώ η προέλευση του Zn συνδέεται με τη χρήση λιπασμάτων. Ακόμη επιβεβαιώνεται ο γεωγενής και ανθρωπογενής χαρακτήρας του Cd, η γεωγενής προέλευση του Pb και ισχυροποιείται το συμπέρασμα της γεωγενούς προέλευσης των Ni και Cr στα υπόγεια νερά.

Τα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας παρουσιάζουν παρόμοιο υδροχημισμό με τα υπόγεια νερά, ο οποίος συνδέεται με τη διάλυση των υποστρωμάτων των ποταμών. Στον Ενιππέα επικρατούν τα Ca^{2+} που σχετίζονται με την ύπαρξη των ανθρακικών σχηματισμών και τα NO_3^- λόγω της έκπλυσης λιπασμάτων. Στην τάφρο υπερισχύουν τα Mg^{2+}, που συνδέονται με την ανάπτυξη των οφιόλιθων, τα HCO_3^- και τα SO_4^{2-} που σχετίζονται με την έντονη παρουσία της οργανικής ύλης και τα NH_4^+ λόγω χρήσης αμμωνιακών λιπασμάτων και ρυπογόνων φορτίων από κτηνοτροφικές μονάδες. Οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των TDS και των SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-} και NH_4^+ παρουσιάζονται υψηλότερες στη Μαντασιά σε σχέση με το τμήμα του Ενιππέα στη Σκοπιά λόγω της έκπλυσης αγροχημικών.

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων Fe, Ni, Cr συνδέεται με την ύπαρξη οξειδίων Fe και υπερβασικών πετρωμάτων στα υποστρώματα των ποταμών. Τα νερά του Ενιππέα έχουν υδροχημικό τύπο $Ca\text{-}HCO_3$ και είναι κυρίως νερά μίξης ή νερά διαλυτοποίησης. Τα νερά της τάφρου είναι του υδροχημικού τύπου $Mg\text{-}HCO_3$ λόγω της παρουσίας των οφιόλιθων και στο μεγαλύτερο ποσοστό τους βρίσκεται σε εξέλιξη το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής. Η υδροχημική τους εξέλιξη καθορίζεται από τις φάσεις $Ca\text{-}HCO_3$, $Mg\text{-}HCO_3$, $Na\text{-}HCO_3$.

Η παραγοντική ανάλυση συνδέει τα νερά της τάφρου με γεωγενείς επιδράσεις, με τη χρήση λιπασμάτων και με λύματα κτηνοτροφικών μονάδων και συσχετίζει τα νερά του Ενιππέα με τη διάβρωση των ανθρακικών σχηματισμών και οξειδίων Fe των υποστρωμάτων του. Οι συγκεντρώσεις των Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ και Br^- όπως και των βαρέων μετάλλων Fe, Ni, Cr παρουσιάζουν τιμές πάνω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά, ενώ η μορφή Cr που επικρατεί είναι το υδροξυ-σύμπλοκο $[Cr(OH)_3\ aq.]$ του τρισθενούς χρωμίου. Η κατά Richards ταξινόμηση εμφανίζει τα νερά του Ενιππέα με μικρότερο κίνδυνο αλατότητας από εκείνα της αποστραγγιστικής τάφρου, κάνοντάς τα καταλληλότερα για άρδευση.

Το ετήσιο ρυπαντικό φορτίο που μεταφέρεται από τα ποτάμια προς τη Θεσσαλία υπολογίστηκε με την αντιστοίχιση της μηνιαίας απορροής με τις μηνιαίες συγκεντρώσεις των στοιχείων και την άθροιση των μηνιαίων τιμών. Από τον Ενιππέα μεταφέρονται 1.069,33 τόνοι NO_3^-, 6,57 τόνοι Fe και 3,09 τόνοι Ni και από την τάφρο 2.416,12 τόνων SO_4^{2-}, 3,56 τόνοι Fe και 2,88 τόνοι Ni.

Στην περίπτωση αναδημιουργίας της λίμνης Ξυνιάδας και εξαιτίας της περίσσειας φορτίων από τις γεωργικές εκτάσεις κρίνεται απαραίτητη η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, της χημικής σύστασης των ιζημάτων αλλά και των μεταβολών τους στο χρόνο.

Λέξεις κλειδιά: Υδρογεωχημική έρευνα, υδρολογικό μοντέλο Ζυγός, γεωμορφολογικοί παράμετροι, αποξηραμένη λίμνη, οργανικό υλικό, υπερβασικά πετρώματα, Ενιππέας, τάφρος.

Abstract

The present thesis investigates the geogenic and anthropogenic factors affecting quality of ground and surface waters, as well as soils in Domokos plateau basin. It identifies the geomorphology of the area, recorded surface runoff and calculates the hydrologic balance parameters.

The study area is located in central Greece, on mount Othrys, that separates Thessaly plain from Maliakos gulf and Sperheios valley and lies between Xmin:362.126 m, Xmax:371.500 m in WE axis and Ymin:4.316.293 m, Yax:4.341.943 m in SN axis. It consists of the hydrological basins of Xynias, which is the basin of the central drainage ditch of the former Xynias lake, and the Scopia basin, which is the basin of the upper reaches of Enippeas river. The total area of the region stretches at 606,69 km^2, with a 146,72 km perimeter as well as 39,79 km and 15,24 km in length and width respectively. The average slope of the plateau is $10,23^0$ and the average altitude is 609 m, characterizing it as a semi-mountainous basin. The hypsometric integral is 24,26%, leading us to the conclusion that the state of the basin is in transition (monadnock phase).

The Xynias basin region is 167,90 km^2 and 66,19 km in perimeter and the average altitude climbs up to 540 m, showing a 539 total number of hydrographic network order streams, their total length reaches the 340,7 km, while his form may be characterized as local dendritic and parallel. The Scopia basin region is 438,79 km^2, with 116,06 km perimeter and has 2.303 total number of hydrographic network order streams, with a 1.253,5 km total length and dendritic form. The numbers of hydrographic network order streams on both basins show significant negative deviation from optimum values, according to Horton's laws, refraining from the ideal development that would allow the optimal basins drainage.

The basin of the plateau belongs to Sub-Pelagonian geotectonic Zone, presenting large ophiolitic masses as a main feature. The geological structure includes alluvial deposits, neogene formations, flysch, limestones, schist rocks conformation and ophiolites. Predominant formations are quaternary deposits and ophiolites with 26,87% and 25,59% respectively.

The direct integration method, which is a comparison of hypsometric and the inverse distance weighted method, was used for the calculation of precipitation and temperature. The annual rainfall and the mean annual temperature were calculated for Xynias basin to 594,1 mm and 14,8^{o}C respectively, while for Scopia basin to 697,9 mm of rain and 14,8^{o}C. The potential evapotranspiration, as calculated by the Thornthwaite method, comes up to 843,7 mm of rain for Xynias basin and 827,5 mm of rain for Scopia basin.

The Lang's drought index values characterize climate for both basins, from June to August as super dry, while the ombrothermic diagrams show that the irrigation period lasts for both basins from the last ten days of April until the end of September.

The annual runoff of Domokos plateau was calculated according to the river water supply measurements in three stations during an 18 months period. The maximum values observed in January 2010 and the minimum in the summer of the same year. The total volume of surface effluence comes up to 77.223.046,91 m^3 of water, of which the 27.543.038,02 m^3 comes from Xynias basin and 49.680.008,9 m^3 from Scopia Basin.

Hydrological balance was estimated with the lumped conceptual water balanced model «ZYGOS». In Xynias basin actual evapotranspiration constitutes 62,7% of precipation, runoff 22,5% and infiltration 14,8%, while the error allowance for the annual rainfall value as calculated by spatial integration, lies at 4,8% and is acceptable. In Scopia basin actual evapotranspiration constitutes 64,2% of precipation, runoff 22,8% and infiltration 13,0%. The error allowance for the annual rainfall value as calculated by spatial integration lies at 0,3% and is considered as negligible.

The Hydrogeological formations of the research area classified into water-permeable, semi permeable and water-impermeable formations. In water-permeable category classified the carbonate formations and carbonate horizons developed within schist rocks. They are the richest aquifer in the region due to their karstification. To the semi permeable formations belong all granular rocks, fissured ophiolite rocks, while to the water-impermeable formations classified clays and pillow lavas of ophiolite group. Groundwater flow in the alluvial aquifer has the same direction with surface water, which is N-NE for Scopia basin and NW for Xynias basin.

In the study area soils dominate the coarser sand fractions; they are sandy loam and loamy sand, slightly alkaline to moderately alkaline, while oxidizing conditions prevail with mean value redox potential 286,7 mV. The electrical conductivity shows low levels with mean value 501μS/cm, while 62% of soils are poor in organic matter due to high levels of sand containing. A soils percentage of 32% is characterized as calcarious due to their high of $CaCO_3$ containing. Soils are mostly classified as poor.

High total concentrations of iron and manganese are associated with a strong presence of their oxides to red-brown soils of the area, while the strong presence of basic and ultrabasic rocks is deemed as the cause of the intense presence of Co, Ni and Cr. Water-soluble forms of Fe and Ni enrich the ground and surface waters of the study area, unlike the Pb and Co that due to the unwieldy nature occur only in traces. High values of pH and $CaCO_3$ of the study area reduce the mobility and bioavailability of trace metals and is the reason for low soluble forms percentage on total.

The heavy minerals of Fe, Mn, Pb and Co dominate in the exchangeable forms, while the associated forms in the carbonate and organic compounds and in Fe & Mn oxides of the heavy metals Fe, Mn, Ni, Cu and Co, present high concentrations. The reason for that is their tendency to connect with the Fe & Mn oxides, carbonate compounds and adsorbed to organic matter. The residual fraction of Fe, Mn, Co, Ni και Cr metals, presents high concentrations an occurrence associated with the strong presence of these metals in the source rocks.

The comparison between basins shows higher values of organic matter and electric conductivity in Xynias basin due to the existence of the former lake and high values of Ni and Cr due to the presence of ophiolites. In Scopia basin the heavy metals Fe, Mn and Zn have higher values due to the presence of these metals in soils derived from limestone weathering, of sedimentary rocks, schist rocks and clay sediments.

The statistical analysis identifies the simultaneous presence of Fe και Zn in the source rocks, the copper connection to the Mn oxides in basic rocks and the origin of Ni, Cr, Co and Pb from the rich ophiolitic bedrock. Soils are polluted in Co, Ni and Cu from geogenic sources as they exceed the maximum acceptable limit pollution of soils of «The New Dutchlist». Anthropogenic activities, such as the application of agrochemicals, act to a small extent, less than 0,01%, as cumulatively to heavy metals concentrations in the region.

The Ca^{+2} and Mg^{+2} are the dominated cations and the HCO_3^-, SO_4^{2-} και NO_3^- are the anions prevailing in alluvial deposits groundwater. The presence of NO_3^- associated with the use of fertilizers while these waters shows high values of electric conductivity due to the dissolution of sedimentary rocks. Flysch formations groundwaters have higher hardness with dominated cations Ca^{+2} and Na^+ and anions HCO_3^- and NO_3^- due to the use of fertilizers. In contrast, limestone waters exhibit lower hardness and electric conductivity with better quality characteristics. Waters from the ophiolitic rocks have predominant cations Mg^{+2} followed by Ca^{+2} and anions HCO_3^-, NO_3^- and SO_4^{2-}.

Wet to dry season comparison shows increased values of the hydrochemical parameters during the dry period, an occurrence associated to mixing waters from larger depths by water circulation in the boreholes. The comparison between basins displays as dominant cations in Xynias basin, the Ca^{2+} and Na^+ and anions HCO_3^- and SO_4^{2-} due of the drained lake and

groundwater enhancement from limestone and ophiolites formations. Higher values of Na^+, Cl^-, HCO_3^-, Mn attributed to the presence of evaporated crust and Mg^{+2} due to the presence of ophiolites. Dissolved oxygen and NO_3^- presents low values, while NH_4^+ prevailing higher values an occurrence associated to the decomposition of the organic matter. In the west part of the basin, temperatures >21.0^{o}C are observed, indicating the circulation of thermal waters.

In Scopia basin the Ca^{+2} and Mg^{+2} and the HCO_3^-, NO_3^- are the dominated cations and anions respectively. The presence of NO_3^- associated with the use of fertilizers, while the other elements have geogenic origin. The observed increasing trends of electrical conductivity attributed to urban wastes, while low waters temperature observed due to aquifers enhancement from Othrys karst masses. Both basins are characterized by relatively low values of TDS, high values of iron due to the presence of Fe oxides and Ni and Cr due to the presence of ultrabasic rocks. The predominant form of chromium is the hydro-complex [$Cr(OH)_3$ aq.] of trivalent chromium.

Groundwaters in the research area have dominant hydrochemical type Ca-Mg-HCO_3 considering as fresh waters with fast enrichment and renewal. The 42% percentage of waters is mix waters with indeterminate hydrochemical type. The hydrochemical evolution of the remaining waters is determined by the phases Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3, Ca-Cl and Mg-Cl. According to hydrogeochemical evaluation the main minerals dissolved groundwaters of the study area are halite (NaCl), carbonate ($CaCO_3$), dolomite $CaMg(CO_3)_2$ και anhydrite ($CaSO_4$). Waters are presented unsaturated in gypsum and anhydrite ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), fluorite (CaF_2), siderite ($FeCO_3$) and magnesite ($MgCO_3$). In contrast they are saturated in carbonate ($CaCO_3$), aragonite ($CaCO_3$) and dolomite $CaMg(CO_3)_2$.

Factor analysis indicates that springs majority are polluted from settlements wastewaters and the use of fertilizers and reveals the existence of evaporated crust which enrich groundwater of the ex-lake area with Na, Mn, Cl and HCO_3^-. Furthermore connects the presence of NO_3^-, NH_4^+ and K^+ in groundwaters with the use of fertilizers and F^-, PO_4^{3-} and Ni with the existence of volcanic and ultrabasic rocks. Cluster analysis classifies groundwater aquifers by their pollution load and mutual groundwater enhancement from limestone and ophiolitic formations.

The consecrations of Ca^{2+}, NO_3^-, Br^- and heavy metals of Fe, Mn, Zn, Cd, Ni and Cr exceeding the drinking water limit of the EC, while Richards classification presents that the waters have low sodium hazard and moderate salinity hazard. Waters are not suitable for drinking water supple, while they are suitable for irrigation purposes.

Comparison between soils and groundwater's spatial distributions indicates the presence of Fe oxides in soils, as iron origin in groundwaters and the evaporated crust in the ex-lake area as manganese origin. Unlike, the absence of Cu and Co attached to the unwieldy nature of the metals, while the origin of Zn associated with the use of fertilizers. Furthermore confirmed the geogenic and anthropogenic character of Cd, the source of Pb by geogenic processes and strengthened the conclusion of Ni and Cr geogenic origin in groundwater.

Surface waters of the study area present similar hydrochemistry as groundwaters, a fact which is connected with the dissolution of rivers bedrocks. In Ennipeas the Ca^{+2} is the domination cation which contributes with the existence of limestone formations and the NO_3^- is the domination anion due to fertilizers leaching. In tafros the Mg^{+2} prevails which is related to the development of ophiolites, the HCO_3^- and SO_4^{2-} due to the organic matter strong existence and NH_4^+ due to the use of ammonium fertilizers and pollutant loads from livestock. Electrical conductivity values of TDS, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-} and NH_4^+ are presented higher in Mantasia than Enippeas part in Scopia due to agrochemicals leaching.

The presence of Fe, Ni, Cr heavy metals related to the existence of Fe oxides and ultrabasic rocks in rivers bedrock. Ennipeas river waters have Ca-HCO_3 hydrochemical type and they are mostly mix or dissolution waters. Tafros waters have Mg-HCO_3 hydrochemical type due to the

ophiolites existence and for the most part of them the procedures of cation exchange ongoing. The hydrochemical evolution is determined by the phases Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3.

Factor analysis connects tafros waters with geogenic processes, with the use of fertilizers and livestock wastes and correlates Enippeas waters with the erosion of limestone and Fe oxides of the river bedrock. The consecrations of Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+, Br ions and Fe, Mn, Zn, Cd, Ni Cr heavy metals exceeding the drinking water limit of the E.C., while the predominant form of chromium is the hydro-complex [$Cr(OH)_3$ aq.] of trivalent chromium. According to Richards's method, Ennipeas waters have less salinity hazard than tafros waters, making them more suitable for irrigation purposes.

The annual pollutant load carried by rivers to Thessaly, was calculated by multiplying the monthly runoff with monthly concentrations of elements and aggregating the results. From Enippeas river carried 1.069,33 tonnes of NO_3^-, 6,57 tonnes of Fe and 3,09 tonnes of Ni and from tafros 2.416,12 tonnes of SO_4^{2-} 3,56 tonnes of Fe and 2,88 tonnes of Ni.

In case of Xynias lake recreation, due to the excess loads from agricultural lands, it is necessary to monitor the water quality, the chemical composition of the sediments and their changes in time.

Key words: Hydrogeochemical research, hydrological model Zygos, geomorphological parameters, drained lake, organic matter, ultrabasic rocks, Ennipeas, tafros.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ABSTRACT	i
	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	ix
	ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	xiii
1.	**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**	1
1.1	Αντικείμενο και στόχοι της διατριβής	1
1.2	Πρότυπα στοιχεία διατριβής και η επιλογή της περιοχής έρευνας	2
1.3	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	2
2.	**ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**	4
2.1	Το Νερό	4
2.1.1	Το νερό στο φυσικό περιβάλλον	4
2.1.2	Επιφανειακά και υπόγεια νερά	4
2.1.3	Γεωγενής και ανθρωπογενής επιβάρυνση των υδάτων	6
2.1.4	Σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης και μόλυνσης	6
2.1.5	Ρύπανση των υδάτων σε βαρέα μέταλλα	7
2.1.6	Νομοθεσία περί προστασίας των υδατικών πόρων	8
2.2	Το έδαφος	10
2.2.1	Το έδαφος ως φυσικός πόρος	10
2.2.2	Σύσταση και ιδιότητες του εδάφους	10
2.2.3	Γεωγενείς και ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις	11
2.2.4	Τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη	12
2.2.5	Νομοθεσία περί προστασίας των εδαφικών πόρων	13
3.	**ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ**	15
3.1	Οριοθέτηση-Γεωγραφικά στοιχεία	15
3.2	Φυσικό περιβάλλον	17
3.2.1	Χλωρίδα και πανίδα	17
3.2.2	Προστατευόμενες περιοχές	19
3.3	Ιστορικό και πολιτιστικό περιβάλλον	20
3.4	Ανθρωπογενές περιβάλλον	22
3.5	Πληθυσμιακή εξέλιξη	22
3.6	Απασχόληση-Παραγωγικοί τομείς	25
3.7	Χρήσεις γης	27
3.7.1	Ταξινόμηση χρήσεων γης	27
3.7.2	Αποξηραμένη λίμνη Ξυνιάδας	29
3.7.2.1	Η πρώην λίμνη	29
3.7.2.2	Παλαιογεωγραφική εξέλιξη	30
3.7.2.3	Αποξήρανση λίμνης	31
3.7.3	Μεταλλεία χρωμίτη	32
3.7.4	Έργα υποδομής και ανάπτυξης	33
3.7.4.1	Οδικό δίκτυο	33
3.7.4.2	Αναπτυξιακά έργα	33
3.7.4.3	Στραγγιστικά και αρδευτικά έργα	34
3.7.4.4	Τουρισμός	35
3.7.4.5	Προοπτικές	35
3.8	Επιπτώσεις στο εδαφικό και υδάτινο περιβάλλον	36
4.	**ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ**	38
4.1	Γενικά	38
4.1.1	Δημιουργία θεματικών χαρτών	38
4.1.2	Γενικά μορφολογικά χαρακτηριστικά	38
4.2	Το ανάγλυφο	40
4.2.1	Ισοϋψείς και σημεία υψομέτρου	40
4.2.2	Μορφολογικές κλίσεις	41

4.2.3	Προσανατολισμός κλίσεων	43
4.2.4	Υψομετρικές ζώνες	44
4.3	Υδρογραφικό δίκτυο	45
4.3.1	Γενικά	45
4.3.2	Μορφομετρικές παράμετροι υδρογραφικού δικτύου	46
4.3.3	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης οροπεδίου Δομοκού	47
4.3.3.1	Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton στο οροπέδιο Δομοκού	49
4.3.4	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης Ξυνιάδας	51
4.3.4.1	Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton στην λεκάνη Ξυνιάδας	53
4.3.5	Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης Σκοπιάς	53
4.3.5.1	Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton στην λεκάνη Σκοπιάς	56
5.	**ΓΕΩΛΟΓΙΑ**	58
5.1	Γενικά	58
5.2	Γεωλογικοί σχηματισμοί	59
5.2.1	Θεματικός γεωλογικός χάρτης	59
5.2.2	Γεωλογικές ενότητες	59
5.3	Λιθοστρωματογραφία	62
5.4	Τεκτονική Δομή	64
5.5	Σεισμικότητα	65
6.	**ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ**	68
6.1	Γενικά	68
6.2	Βροχόπτωση	68
6.2.1	Συμπλήρωση κενών παρατηρήσεων και έλεγχος ομοιογένειας δεδομένων	68
6.2.2	Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης	71
6.2.2.1	Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς	71
6.2.2.2	Κατανομή βροχόπτωσης	71
6.3	Θερμοκρασία	73
6.3.1	Χωρική ολοκλήρωση θερμοκρασίας λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς	74
6.4	Κλιματικά στοιχεία περιοχής έρευνας	75
6.5	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή	78
6.6	Ολική απορροή	79
6.7	Υδατικό ισοζύγιο	82
6.7.1	Μοντέλο Ζυγός	83
6.7.2	Υπολογιστική διαδικασία	84
6.7.3	Εφαρμογή του μοντέλου στη λεκάνη Ξυνιάδας	85
6.7.4	Εφαρμογή του μοντέλου στη λεκάνη Σκοπιάς	87
7.	**ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ**	92
7.1	Γενικά	92
7.2	Υδρολιθολογική ταξινόμηση	92
7.3	Υδροφορίες	93
7.3.1	Υδροφορία των καρστικών σχηματισμών	93
7.3.2	Υδροφορία των διερρηγμένων σχηματισμών	95
7.3.3	Υδροφορία των σχηματισμών του φλύσχη	95
7.3.4	Υδροφορία των σχηματισμών του νεογενούς	95
7.3.5	Υδροφορία των τεταρτογενών αποθέσεων	96
8.	**ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΕΔΑΦΩΝ**	98
8.1	Σκοπός της Γεωχημικής έρευνας	98
8.2	Δειγματοληψία εδαφών	98
8.3	Μέθοδοι ανάλυσης εδάφους	99
8.4	Επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων	102
8.5	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εδαφών	102
8.5.1	Κοκκομετρική σύσταση	102
8.5.2	Τιμές pH – οξύτητα εδαφών	104
8.5.3	Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Eh)	108

8.5.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC	110
8.5.5	Οργανική ουσία	110
8.5.6	Ισοδύναμο Ανθρακικό ασβέστιο (% $CaCO_3$)	112
8.6	Βαρέα μέταλλα εδαφών	114
8.6.1	Ολικός σίδηρος (Fe_{tot})	114
8.6.2	Μαγγάνιο (Mn)	119
8.6.3	Χαλκός (Cu)	123
8.6.4	Ψευδάργυρος (Zn)	126
8.6.5	Κάδμιο (Cd)	132
8.6.6	Μόλυβδος (Pb)	135
8.6.7	Νικέλιο (Ni)	141
8.6.8	Κοβάλτιο (Co)	144
8.6.9	Χρώμιο ολικό (Cr_{tot})	150
8.7	Στατιστική επεξεργασία εδαφοχημικών αποτελεσμάτων	155
8.7.1	Γενικά	155
8.7.2	Ανάλυση συσχέτισης (Correlation Analysis)	155
8.7.3	Παραγοντική ανάλυση (R-Factor Analysis)	155
8.7.4	Ανάλυση σε ομάδες (Cluster Analysis)	160
9.	**ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ**	163
9.1	Γενικά	163
9.2	Μεθοδολογία	163
9.2.1	Δειγματοληψία	163
9.2.2	Επιτόπιες μετρήσεις - Εργαστηριακές αναλύσεις	164
9.2.3	Επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων	165
9.3	**Υπόγεια νερά**	168
9.3.1	Φυσικοχημικές παράμετροι	168
9.3.1.1	Θερμοκρασία	168
9.3.1.2	Το pH	171
9.3.1.3	Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)	174
9.3.1.4	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)	175
9.3.1.5	Συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS)	176
9.3.1.6	Διαλυμένο οξυγόνο (DO)	179
9.3.1.7	Διοξείδιο άνθρακα (CO_2)	182
9.3.1.8	Σκληρότητα (^odH)	185
9.3.2	Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία	188
9.3.2.1	Ασβέστιο (Ca^{2+})	188
9.3.2.2	Μαγνήσιο (Mg^{2+})	189
9.3.2.3	Κάλιο (K^+)	193
9.3.2.4	Νάτριο (Na^+)	194
9.3.2.5	Οξυανθρακικά (HCO_3^-)	197
9.3.2.6	Χλώριο (Cl^-)	199
9.3.2.7	Θειικά ιόντα (SO_4^{-2})	201
9.3.2.8	Ενώσεις αζώτου	205
9.3.2.8.1	Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)	205
9.3.2.8.2	Αμμωνικά ιόντα (NH_4^+)	208
9.3.2.9	Φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)	211
9.3.2.10	Βρώμιο (Br^-)	213
9.3.2.11	Ιώδιο (I^-)	217
9.3.2.12	Φθοριούχα ιόντα (F^-)	218
9.3.2.13	Διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2)	220
9.3.2.14	Θερμομεταλλικά νερά	222
9.3.3	Βαρέα μέταλλα	223
9.3.3.1	Σίδηρος ολικός (Fe^{2+} και Fe^{3+})	223
9.3.3.2	Μαγγάνιο (Mn)	226
9.3.3.3	Χαλκός (Cu)	230

9.3.3.4	Ψευδάργυρος (Zn)	231
9.3.3.5	Κάδμιο (Cd)	234
9.3.3.6	Μόλυβδος (Pb)	236
9.3.3.7	Νικέλιο (Ni)	239
9.3.3.8	Κοβάλτιο (Co)	241
9.3.3.9	Χρώμιο ολικό (Cr_{tot})	243
9.4	Υδροχημική ταξινόμηση	246
9.4.1	Γενικά	246
9.4.2	Ταξινόμηση κατά Piper	246
9.4.3	Ταξινόμηση κατά Durov	250
9.5	Προέλευση στοιχείων	255
9.5.1	Γενικά	255
9.5.2	Ιοντικοί λόγοι	255
9.5.2.1	Ιοντικός λόγος (Mg:Ca)	255
9.5.2.2	Ιοντικός λόγος (Ca+Mg):(Na+K)	257
9.5.3	Δείκτες κορεσμού	261
9.6	Στατιστική επεξεργασία υπόγειων νερών	264
9.6.1	Γενικά	264
9.6.2	Ανάλυση συσχέτισης (Correlation Analysis)	264
9.6.3	Παραγοντική ανάλυση (R-Factor Analysis)	265
9.6.4	Ανάλυση σε ομάδες (Cluster Analysis)	275
9.7	Καταλληλότητα χρήσης των υπογείων νερών	278
9.7.1	Γενικά	278
9.7.2	Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για ανθρώπινη κατανάλωση	278
9.7.3	Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για άρδευση	279
9.7.3.1	Ταξινόμηση κατά Richards	279
9.8	**ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ**	282
9.8.1	Γενικά	282
9.8.2	Φυσικοχημικοί παράμετροι	284
9.8.3	Κύρια στοιχεία	288
9.8.4	Ιχνοενώσεις	291
9.8.5	Βαρέα μέταλλα	292
9.8.6	Ταξινόμηση επιφανειακών νερών	296
9.8.7	Στατιστική επεξεργασία επιφανειακών νερών	297
9.8.8	Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου θρεπτικών στοιχείων	300
9.8.9	Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου βαρέων μετάλλων	302
9.8.10	Καταλληλότητα χρήσης των επιφανειακών νερών	303
10.	**ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**	305
11.	**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**	312
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	319
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	344
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	355

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ		Σελ.
2.1	Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων βαρέων μετάλλων (σε ppm) που περιέχουν ορισμένα λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους (*www.lenntech.com/heavy-metals.htm*)	**8**
2.2	Ρύπανση των εδαφών σε βαρέα μέταλλα (ppm) από πηγές γεωργικής προέλευσης (*Kabata-Pendias and Pendias* 1992)	**13**
2.3	Μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδάφους από βαρέα μέταλλα στην Ολλανδία	**14**
3.1	Φύλλα Τοπογραφικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΓΥΣ)	**15**
3.2	Οι Περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές οροπεδίου Δομοκού	**19**
3.3	Η έκταση και η περίμετρος που καταλαμβάνουν οι 7 Δήμοι που βρίσκονται μερικώς στο οροπέδιο Δομοκού	**24**
3.4	Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού των κύριων Τοπικών Κοινοτήτων των Δήμων που απαρτίζουν την περιοχή έρευνας από το 1971 έως 2001 (Πηγή: ΕΣΥΕ)	**25**
3.5	Απασχολούμενοι κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας των τοπικών κοινοτήτων των οικισμών της περιοχής έρευνας (Πηγή: ΕΣΥΕ 2001)	**26**
3.6	Εκμεταλλεύσεις και εκτάσεις σε στρέμματα κατά είδος καλλιέργειας για το οροπέδιο Δομοκού σύμφωνα με την απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας 1999-2000 (Πηγή: ΕΣΥΕ)	**26**
3.7	Εκμεταλλεύσεις και αριθμός ζώων ανά κατηγορία για το οροπέδιο Δομοκού σύμφωνα με την απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας 1999-2000 (Πηγή: ΕΣΥΕ)	**27**
3.8	Οι κατηγορίες, η έκταση και το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι χρήσεις/κάλυψης γης στο οροπέδιο Δομοκού	**28**
3.9	Κύριες βιομηχανικές μονάδες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή έρευνας	**37**
4.1	Ταξινόμηση αναγλύφου ανάλογα με την κλίση του σε μοίρες (*Demek* 1972)	**42**
4.2	Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης των κλίσεων	**43**
4.3	Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης προσανατολισμού των κλίσεων	**44**
4.4	Ταξινόμηση αναγλύφου κατά *Dikau* (1989)	**44**
4.5	Έκταση και ποσοστό των υψομετρικών ζωνών του οροπεδίου Δομοκού	**45**
4.6	Η τάξη ρεμάτων και τα μήκη αυτών του υδρογραφικού δικτύου του οροπεδίου Δομοκού	**47**
4.7	Βασικές μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης οροπεδίου Δομοκού	**47**
4.8	Μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης λεκάνης οροπεδίου Δομοκού	**48**
4.9	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του οροπεδίου Δομοκού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1^{ο} νόμο του Horton	**50**
4.10	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του οροπεδίου Δομοκού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2^{ο} νόμο του Horton	**50**
4.11	Η τάξη ρεμάτων και τα μήκη αυτών του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ξυνιάδας	**52**
4.12	Μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης λεκάνης Ξυνιάδας	**52**
4.13	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ξυνιάδας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1^{ο} νόμο του Horton	**54**
4.14	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ξυνιάδας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2^{ο} νόμο του Horton	**54**
4.15	Η τάξη ρεμάτων και τα μήκη αυτών του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Σκοπιάς	**55**
4.16	Μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης λεκάνης Σκοπιάς	**56**
4.17	Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Σκοπιάς και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1^{ο} νόμο του Horton	**57**
4.18	Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Σκοπιάς και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2^{ο} νόμο του Horton	**57**
5.1	Φύλλα Γεωλογικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΙΓΜΕ)	**59**
5.2	Εμβαδά και ποσοστά επί του συνόλου των ενοποιημένων γεωλογικών ενοτήτων της λεκάνης οροπεδίου Δομοκού	**61**
6.1	Βροχομετρικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής του οροπεδίου Δομοκού	**68**
6.2	Μέση μηνιαία και ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) για τους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας	**69**
6.3	Μέση μηνιαία και μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση (mm) λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς	**71**

6.4	Μετεωρολογικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής του οροπεδίου Δομοκού	**73**
6.5	Μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (^{0}C) για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας	**74**
6.6	Μέση μηνιαία και μέση ετήσια επιφανειακή θερμοκρασία (^{0}C) λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς	**75**
6.7	Εύρος των τιμών του δείκτη Lang και χαρακτηρισμός κλίματος κατά Gracamin	**75**
6.8	Χαρακτηρισμός κλίματος των λεκανών της περιοχής έρευνας	**77**
6.9	Μέση μηνιαία και συνολική ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm) λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς	**79**
6.10	Μέση μηνιαία παροχή (m^3/h) των ποταμών στην περιοχή έρευνας	**80**
6.11	Μέση μηνιαία ολική απορροή της περιοχής έρευνας	**82**
6.12	Προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου για τη λεκάνη Ξυνιάδας για δείκτη Nash 0,82	**85**
6.13	Προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου της αυτόματης βαθμονόμησης για τη λεκάνη Σκοπιάς	**89**
6.14	Παράμετροι της χειροκίνητης βαθμονόμησης του αδρομερούς μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής Ζυγός για τη λεκάνη Σκοπιάς	**89**
6.15	Προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου για τη λεκάνη Σκοπιάς για δείκτη Nash 0,70	**91**
7.1	Επιφανειακή ανάπτυξη των κύριων υδρολιθολογικών ενοτήτων του οροπεδίου Δομοκού	**94**
8.1	Δείγματα πετρωμάτων και εδαφών που δεν έχουν υποστεί ανθρωπογενείς επιδράσεις	**98**
8.2	Εύρος λειτουργίας κι ευαισθησία φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908	**101**
8.3	Αποτελέσματα των εδαφοχημικών αναλύσεων της περιοχής έρευνας	**105**
8.3 (συνέχεια)	Αποτελέσματα των εδαφοχημικών αναλύσεων της περιοχής έρευνας	**106**
8.4	Συντελεστές συσχέτισης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων της περιοχής έρευνας	**156**
8.5	Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων	**159**
8.6	Ταξινόμηση των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στις τέσσερις ομάδες	**161**
9.1	Μέθοδοι μετρήσεων και αναλύσεων των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού (*Γερμανικός βαθμός σκληρότητας)	**166**
9.2	Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού των πηγών (Π), γεωτρήσεων υγρής Γ(α) και ξηρής Γ(β) περιόδου από τα Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα της περιοχής δειγματοληψίας	**169**
9.2 (συνέχεια)	Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού των πηγών (Π), γεωτρήσεων υγρής Γ(α) και ξηρής Γ(β) περιόδου από τα Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα της περιοχής δειγματοληψίας	**170**
9.3	Ταξινόμηση κατά *Hölting* (1980) της σκληρότητας των νερών σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές	**186**
9.4	Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας (Π: Πηγές, α: Γεωτρήσεις υγρής περιόδου, β: Γεωτρήσεις ξηρής περίοδου)	**250**
9.5	Οι ιοντικοί λόγοι που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας	**256**
9.6	Τιμές δεικτών κορεσμού (SI) ως προς τα κυριότερα ορυκτά των γεωτρήσεων υγρής περιόδου	**263**
9.7	Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των πηγών	**266**
9.8	Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων υπόγειων νερών υγρής περιόδου	**267**
9.9	Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου	**268**
9.10	Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων υγρής περιόδου	**270**
9.11	Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων ξηρής περιόδου	**273**
9.12	Ταξινόμηση δειγμάτων πηγών στις τέσσερις ομάδες	**275**
9.13	Ταξινόμηση δειγμάτων υγρής περιόδου στις τέσσερις ομάδες	**276**
9.14	Ταξινόμηση δειγμάτων ξηρής περιόδου στις τέσσερις ομάδες	**277**
9.15	Σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/ΕΚ, ΦΕΚ 892/Β/11)	**279**

9.16	Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων των επιφανειακών νερών της περιοχής δειγματοληψίας	**285**
9.17	Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων των επιφανειακών νερών της Τάφρου Ξυνιάδας	**298**
9.18	Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των επιφανειακών νερών της Τάφρου	**298**
9.19	Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων των επιφανειακών νερών του Ενιππέα	**299**
9.20	Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των επιφανειακών νερών του Ενιππέα	**300**
9.21	Ετήσιο ρυπαντικό φορτίο θρεπτικών στοιχείων της τάφρου σε τόνους	**301**
9.22	Ετήσιο ρυπαντικό φορτίο θρεπτικών στοιχείων του Ενιππέα σε τόνους	**301**
9.23	Ετήσιο μεταφερόμενο ρυπαντικό φορτίο σε βαρέα μέταλλα της τάφρου και του Ενιππέα σε τόνους	**303**

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ		Σελ.
2.1	Η κίνηση του νερού από την επιφάνεια προς τα εδαφικά στρώματα και τα πετρώματα (http://ga.water.usgs.gov/)	**5**
3.1	Απεικόνιση της περιοχής έρευνας στον Ελληνικό χώρο και μέσω των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000	**16**
3.2	Χάρτης Προστατευόμενων περιβαλλοντικά περιοχών του οροπεδίου Δομοκού	**20**
3.3	Η αρχαία Ακρόπολη Ξυνιάδας	**21**
3.4	Η αρχαία Ακρόπολη Μελιταίας	**21**
3.5	Χάρτης των 7 Δήμων και των 3 νομών της περιοχής έρευνας	**23**
3.6	Χάρτης των 41 τοπικών κοινοτήτων που βρίσκονται εξολοκλήρου ή μερικώς εντός της περιοχής έρευνας	**23**
3.7	Χάρτης των Οικισμών που βρίσκονται εντός ή στα όρια της περιοχής έρευνας	**24**
3.8	Χάρτης με τις κατηγορίες, την έκταση και το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι χρήσεις/κάλυψης γης στο οροπέδιο Δομοκού	**29**
3.9	Ψαράδες στη λίμνη Ξυνιάδας το 1936	**30**
3.10	Η κεντρική αποστραγγιστική τάφρος ανάντη της γέφυρας των Αγγειών	**31**
3.11	Η λίμνη λόγω της καταβύθισης των παλιών στοών των μεταλλείων	**33**
3.12	Το εθνικό και κοινοτικό οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας	**34**
3.13	Το αιολικό πάρκο και το περιβαλλοντικό πολιτιστικό πάρκο στην Τοπική Κοινότητα της Ανάβρας	**35**
4.1	Τα προσδιορισμένα προς τις γειτονικές λεκάνες όρια του υδροκρίτη της λεκάνης του οροπεδίου Δομοκού	**39**
4.2	Διαβάθμιση υψομέτρου όπως προέκυψε από το DEM αρχείο της περιοχής μελέτη	**40**
4.3	Χάρτης ισοϋψών και σημείων υψομέτρου της περιοχής έρευνας	**41**
4.4	Χάρτης κλίσεων αναγλύφου σε μοίρες της περιοχής έρευνας	**42**
4.5	Χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων (slope aspect map) του οροπεδίου Δομοκού	**43**
4.6	Χάρτης υψομετρικών ζωνών της περιοχής έρευνας	**45**
4.7	Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο του οροπεδίου Δομοκού	**46**
4.8	Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Ξυνιάδας	**51**
4.9	Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Σκοπιάς	**55**
5.1	Γεωτεκτονική διάταξη των ελληνίδων ζωνών (*Mountrakis et al.* 1983) Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα πλακωδών Ασβεστόλιθων	**58**
5.2	Θεματικός γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας	**60**
5.3	Γεωλογικός χάρτης ενοποιημένων γεωλογικών ενοτήτων με τα κύρια ρήγματα	**60**
5.4	Στρωματογραφική στήλη Υποπελαγονικής της Όθρυς από το γεωλογικό χάρτη «Λαμία» (Μαρίνος κ.ά 1967)	**63**
5.5	Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (*http://www.oasp.gr*)	**66**
5.6	Οι μακροσεισμικές εντάσεις και τα ρήγματα από τους σεισμούς του 1954, 1957 και 1980 που εκδηλώθηκαν στην περιοχή της Θεσσαλίας (*Papazachos et al.* 1993)	**66**
6.1	Γεωγραφική κατανομή των βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας	**69**
6.2	Μέση μηνιαία μεταβολή βροχόπτωσης της περιόδου αναφοράς	**70**
6.3	Ραβδογράμματα συσχέτισης βροχόπτωσης με το υψόμετρο βροχομετρικών σταθμών	**70**
6.4α	Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης λεκάνης Ξυνιάδας	**72**
6.4β	Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης λεκάνης Σκοπιάς	**72**
6.5	Χωρική κατανομή επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη Οροπεδίου Δομοκού	**73**
6.6	Γεωγραφική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας	**74**
6.7	Μέση μηνιαία μεταβολή θερμοκρασίας της περιόδου αναφοράς	**75**
6.8α	Χωρική ολοκλήρωση θερμοκρασίας λεκάνης Ξυνιάδας	**76**
6.8β	Χωρική ολοκλήρωση θερμοκρασίας λεκάνης Σκοπιάς	**76**

6.9	Ομβροθερμικό διάγραμμα της λεκάνης Ξυνιάδας	**77**
6.10	Ομβροθερμικό διάγραμμα της λεκάνης Σκοπιάς	**78**
6.11	Σταθμοί μέτρησης της παροχής των ποταμών στην περιοχή έρευνας	**79**
6.12	Το σημείο Ε1 μέτρησης παροχής της αποστραγγιστικής τάφρου στην έξοδο της λεκάνης Ξυνιάδας	**81**
6.13α	Το σημείο Ε2 μέτρησης παροχής του Ενιππέα ποταμού στη γέφυρα της Μαντασιάς στη λεκάνη Σκοπιάς	**81**
6.13β	Το σημείο Ε3 μέτρησης παροχής του Ενιππέα ποταμού στη γέφυρα Σκοπιάς στη λεκάνη Σκοπιάς	**81**
6.14	Υδρογραφήματα των υδατορευμάτων της περιοχής έρευνας	**82**
6.15	Αυτόματη βαθμονόμηση του αδρομερούς μοντέλου Ζυγός για τη λεκάνη Ξυνιάδας	**86**
6.16	Μηνιαία διακύμανση των υπολογισμένων με το αδρομερές μοντέλο Ζυγός παραμέτρων υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Ξυνιάδας για δείκτη Nash 0,82	**87**
6.17	Σύγκριση παρατηρημένης και υπολογισμένης από το μοντέλο Ζυγός απορροής για τη λεκάνη Ξυνιάδας (συντελεστής Nash:0,82)	**87**
6.18	Αυτόματη βαθμονόμηση του αδρομερούς μοντέλου Ζυγός για τη λεκάνη Σκοπιάς	**88**
6.19	Χειροκίνητη βαθμονόμηση του αδρομερούς μοντέλου Ζυγός για τη λεκάνη Σκοπιάς	**88**
6.20	Μηνιαία διακύμανση των υπολογισμένων με το αδρομερές μοντέλο Ζυγός παραμέτρων υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Σκοπιάς για δείκτη Nash 0,70	**90**
6.21	Σύγκριση παρατηρημένης και υπολογισμένης από το μοντέλο Ζυγός απορροής για τη λεκάνη Σκοπιάς (συντελεστής Nash:0,70)	**91**
7.1	Χωρική κατανομή των Υδρολιθολογικών ενοτήτων του οροπεδίου Δομοκού	**94**
7.2	Υδροφόρος ορίζοντας υπό πίεση	**96**
8.1	Χωρική κατανομή των σημείων δειγματοληψίας εδαφών στην περιοχή έρευνας	**99**
8.2	Σχήμα 8.2. Διάγραμμα ταξινόμησης των κλάσεων της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών της περιοχής έρευνας (*http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/*) (●: Εδάφη αναφοράς)	**103**
8.3	Ποσοστιαία κατανομή των κλάσεων της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών της περιοχής έρευνας	**104**
8.4	Ποσοστιαία κατανομή του pH των εδαφών της περιοχής έρευνας	**107**
8.5	Ιστόγραμμα σύγκρισης του pH των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**107**
8.6	Χωρική κατανομή του εδαφικού pH στην περιοχή έρευνας	**108**
8.7	Ιστόγραμμα σύγκρισης του Eh των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**109**
8.8	Χωρική κατανομή του δυναμικού οξειδοαναγωγής (mV) στην περιοχή έρευνας	**109**
8.9	Ιστόγραμμα σύγκρισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**110**
8.10	Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm) στην περιοχή έρευνας	**111**
8.11	Ιστόγραμμα σύγκρισης της οργανικής ουσίας (%) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**112**
8.12	Χωρική κατανομή της οργανικής ουσίας (%) στην περιοχή έρευνας	**113**
8.13	Ιστόγραμμα σύγκρισης του ανθρακικού ασβεστίου (%) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**113**
8.14	Χωρική κατανομή του ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου (%) στην περιοχή έρευνας	**114**
8.15	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Fe των εδαφών με τα εδάφη αναφοράς	**116**
8.16	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Fe (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**116**
8.17	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Fe επί των ολικών	**117**
8.18(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Fe (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**118**
8.19	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Mn των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**120**
8.20	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Mn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**120**
8.21	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Mn επί των ολικών	**121**
8.22(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Mn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**122**
8.23	Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Cu της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (190 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist»	**124**
8.24	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Cu των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**124**
8.25	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Cu (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**125**

8.26	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Cu επί των ολικών	**126**
8.27(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Cu (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**127**
8.28	Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Zn της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (720 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist»	**128**
8.29	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Zn των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**129**
8.30	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Zn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**129**
8.31	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Zn επί των ολικών	**130**
8.32(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Zn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**131**
8.33	Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Cd της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (12 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist»	**133**
8.34	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Cd των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**133**
8.35	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Cd (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**134**
8.36	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Cd επί των ολικών	**135**
8.37(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Cd (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**136**
8.38	Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Pb της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (530 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist»	**137**
8.39	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Pb των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**138**
8.40	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Pb (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**138**
8.41	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Pb επί των ολικών	**139**
8.42(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Pb (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**140**
8.43	Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Ni της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (210 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist»	**142**
8.44	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Ni των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**142**
8.45	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Ni (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**143**
8.46	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Ni επί των ολικών	**144**
8.47(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Ni (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**145**
8.48	Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Co της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (240 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist»	**146**
8.49	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Co των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**147**
8.50	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Co (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**148**
8.51	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Co επί των ολικών	**148**
8.52(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Co (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**149**
8.53	Διαλυτότητα του Cr^{3+} και Cr^{6+} στα εδάφη σε συνάρτηση με το pH (*Bartlett and Kimble* 1976 από *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007)	**151**
8.54	Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Cr της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (380 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist»	**152**
8.55	Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Cr των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς	**152**
8.56	Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Cr (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**153**
8.57	Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Cr επί των ολικών	**153**
8.58(α-δ)	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Cr (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	**154**
8.59	Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων	**157**
8.60(α-δ)	Χωρική κατανομή των 4 παραγόντων της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των ολικών συγκεντρώσεων	**158**
8.61	Χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων	**161**

9.1	Χωρική κατανομή των σημείων δειγματοληψίας, πηγών, υπόγειων υδάτων υγρής και ξηρής περιόδου και επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας	**164**
9.2	Ιστόγραμμα σύγκρισης της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**171**
9.3	Χωρική κατανομή της Θερμοκρασίας στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**172**
9.4	Χωρική κατανομή της Θερμοκρασίας στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**172**
9.5	Ιστόγραμμα σύγκρισης του pH των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**173**
9.6	Χωρική κατανομή του pH στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**173**
9.7	Χωρική κατανομή του pH στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**174**
9.8	Ιστόγραμμα σύγκρισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**176**
9.9	Χωρική ολοκλήρωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**177**
9.10	Χωρική ολοκλήρωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**177**
9.11	Ιστόγραμμα σύγκρισης των συνολικών διαλυμένων στερεών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**178**
9.12	Χωρική κατανομή των συνολικών διαλυμένων στερεών στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**180**
9.13	Χωρική κατανομή των συνολικών διαλυμένων στερεών στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**180**
9.14	Ιστόγραμμα σύγκρισης του διαλυμένου οξυγόνου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**181**
9.15	Χωρική κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**182**
9.16	Χωρική κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**183**
9.17	Χωρική κατανομή του διοξειδίου του άνθρακα στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**184**
9.18	Χωρική κατανομή του διοξειδίου του άνθρακα στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**184**
9.19	Χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**187**
9.20	Χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**187**
9.21	Ιστόγραμμα σύγκρισης του ασβεστίου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**189**
9.22	Χωρική κατανομή του ασβεστίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**190**
9.23	Χωρική κατανομή του ασβεστίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**190**
9.24	Ιστόγραμμα σύγκρισης του μαγνησίου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**192**
9.25	Χωρική κατανομή του μαγνησίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**192**
9.26	Χωρική κατανομή του μαγνησίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**193**
9.27	Χωρική κατανομή του καλίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**195**
9.28	Χωρική κατανομή του καλίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**195**
9.29	Ιστόγραμμα σύγκρισης του νατρίου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**196**
9.30	Χωρική κατανομή του νατρίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**198**
9.31	Χωρική κατανομή του νατρίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**198**
9.32	Ιστόγραμμα σύγκρισης των οξυανθρακικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**199**
9.33	Χωρική κατανομή των οξυανθρακικών στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**200**
9.34	Χωρική κατανομή των οξυανθρακικών στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**200**
9.35	Χωρική κατανομή του χλωρίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**203**
9.36	Χωρική κατανομή του χλωρίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**203**
9.37	Ιστόγραμμα σύγκρισης των θειικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.	**204**
9.38	Χωρική κατανομή των θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**205**
9.39	Χωρική κατανομή των θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**206**
9.40	Οι συγκεντρώσεις NO_3^- στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (50 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	**207**
9.41	Ιστόγραμμα σύγκρισης των νιτρικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**208**
9.42	Χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**209**
9.43	Χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**209**
9.44	Ιστόγραμμα σύγκρισης των αμμωνιακών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**210**
9.45	Χωρική κατανομή των αμμωνιακών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**211**
9.46	Χωρική κατανομή των αμμωνιακών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**212**
9.47	Ιστόγραμμα σύγκρισης των φωσφορικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**213**
9.48	Χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**214**
9.49	Χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**214**
9.50	Χωρική κατανομή των ιόντων βρωμίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**216**
9.51	Χωρική κατανομή των ιόντων βρωμίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**216**
9.52	Χωρική κατανομή των ιόντων ιωδίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**219**
9.53	Χωρική κατανομή των ιόντων ιωδίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**219**
9.54	Χωρική κατανομή των ιόντων φθορίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**221**

9.55	Χωρική κατανομή των ιόντων φθορίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**221**
9.56	Χωρική κατανομή των ιόντων πυριτίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**223**
9.57	Οι γεωτρήσεις με τους θερμούς υδροφόρους και οι γειτονικές προς την περιοχή έρευνας θερμομεταλλικές πηγές	**224**
9.58	Οι συγκεντρώσεις ολικού Fe στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,2 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	**226**
9.59	Ιστόγραμμα σύγκρισης ολικού Fe των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**226**
9.60	Χωρική κατανομή του σιδήρου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**227**
9.61	Χωρική κατανομή του σιδήρου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**227**
9.62	Οι συγκεντρώσεις Mn στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,05 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	**229**
9.63	Ιστόγραμμα σύγκρισης του Mn των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**229**
9.64	Χωρική κατανομή του μαγγανίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**230**
9.65	Χωρική κατανομή του μαγγανίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**231**
9.66	Οι συγκεντρώσεις Zn στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,10 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	**233**
9.67	Ιστόγραμμα σύγκρισης του Zn των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**233**
9.68	Χωρική κατανομή του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**234**
9.69	Χωρική κατανομή του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**235**
9.70	Οι συγκεντρώσεις Cd στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,005 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	**236**
9.71	Χωρική κατανομή του καδμίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**237**
9.72	Χωρική κατανομή του μολύβδου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**238**
9.73	Οι συγκεντρώσεις Ni στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,02 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	**240**
9.74	Ιστόγραμμα σύγκρισης του Ni των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**240**
9.75	Χωρική κατανομή του νικελίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**241**
9.76	Χωρική κατανομή του νικελίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**242**
9.77	Οι συγκεντρώσεις Cr στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,05 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	**244**
9.78	Ιστόγραμμα σύγκρισης του Cr των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου	**245**
9.79	Διάγραμμα Eh-pH (Pourbaix) με τις μορφές Cr για τα υπόγεια νερά των πηγών (🟢), υγρής (🔵) και ξηρής περιόδου (🔴) (*Hem* 1989)	**246**
9.80	Χωρική κατανομή του ολικού χρωμίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**247**
9.81	Χωρική κατανομή του ολικού χρωμίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**247**
9.82	Διάγραμμα Piper για τα δείγματα υπόγειων νερών των πηγών	**248**
9.83	Διάγραμμα Piper για τα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου	**249**
9.84	Διάγραμμα Piper για τα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου	**249**
9.85	Το διευρυμένο ή διαστελλόμενο διάγραμμα Durov	**251**
9.86	Διάγραμμα Durov για τα δείγματα υπόγειων νερών των πηγών	**251**
9.87	Διάγραμμα Durov για τα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου	**252**
9.88	Διάγραμμα Durov για τα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου	**253**
9.89	Χωρική κατανομή των πεδίων Durov στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου	**254**
9.90	Χωρική κατανομή των πεδίων Durov στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου	**254**
9.91	Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Mg:Ca) για τα νερά υγρής περιόδου	**257**
9.92	Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Mg:Ca) για τα νερά ξηρής περιόδου	**257**
9.93	Χωρική κατανομή του λόγου (Mg:Ca) υπόγειων νερών υγρής περιόδου	**258**
9.94	Χωρική κατανομή του λόγου (Mg:Ca) υπόγειων νερών ξηρής περιόδου	**258**
9.95	Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Ca+Mg):(Na+K) για τα νερά υγρής περιόδου	**259**
9.96	Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Ca+Mg):(Na+K) για τα νερά ξηρής περιόδου	**259**
9.97	Χωρική κατανομή του λόγου (Ca+Mg):(Na+K) υπόγειων νερών υγρής περιόδου	**260**
9.98	Χωρική κατανομή του λόγου (Ca+Mg):(Na+K) υπόγειων νερών ξηρής περιόδου	**260**
9.99	Κορεσμός υπόγειων νερών υγρής περιόδου στον Ασβεστίτη	**261**
9.100	Κορεσμός υπόγειων νερών υγρής περιόδου στον Αραγωνίτη	**261**
9.101	Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Δολομίτη	**262**
9.102	Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Σιδερίτη	**262**
9.103	Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Μαγνησίτη	**262**
9.104	Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στη Γύψο	**262**
9.105	Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στον Ανυδρίτη	**262**

9.106	Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Φθορίτη	**262**
9.107	Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των πηγών	**266**
9.108	Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων υγρής περιόδου	**270**
9.109(α-δ)	Χωρική κατανομή των τεσσάρων παραγόντων της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων υγρής περιόδου	**271**
9.110	Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων ξηρής περιόδου	**273**
9.111(α-δ)	Χωρική κατανομή των 4 παραγόντων της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων ξηρής περιόδου	**274**
9.112	Χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες των δειγμάτων της υγρής περιόδου	**276**
9.113	Χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες των δειγμάτων της ξηρής περιόδου	**277**
9.114	Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών (Richards, 1954)	**280**
9.115α	Διάγραμμα Richards για τα δείγματα των πηγών	**281**
9.115β	Διάγραμμα Richards για τα δείγματα υγρής περιόδου	**281**
9.115γ	Διάγραμμα Richards για τα δείγματα ξηρής περιόδου	**281**
9.116	Κατανομή των υπόγειων νερών υγρής περιόδου ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR	**283**
9.117	Κατανομή των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR	**283**
9.118	Οι Θερμοκρασίες επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες αέρα	**286**
9.119	Οι συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας	**290**
9.120	Οι συγκεντρώσεις ιχνοενώσεων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας	**292**
9.121	Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας	**294**
9.122	Διάγραμμα Eh-pH (Pourbaix) με τις μορφές Cr για τα νερά της τάφρου (🟢) και του Ενιππέα στη Μαντασιά (🔴) και στη Σκοπιά (🔵) (*Hem* 1989)	**295**
9.123	Διάγραμμα Piper των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού	**297**
9.124	Διάγραμμα Durov των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού	**297**
9.125	Σύγκριση του ετήσιου μεταφερόμενου ρυπαντικού φορτίου σε θρεπτικά στοιχεία, από τις εξόδους των δύο λεκανών της περιοχής έρευνας	**302**
9.126	Σύγκριση του ετήσιου μεταφερόμενου ρυπαντικού φορτίου σε βαρέα μέταλλα, από τις εξόδους των δύο λεκανών της περιοχής έρευνας	**303**
9.127α	Διάγραμμα Richards για τα επιφανειακά νερά της Τάφρου Ξυνιάδας	**304**
9.127β	Διάγραμμα Richards για τα επιφανειακά νερά του Ενιππέα	**304**
10.1	Χάρτης προτεινόμενης λύσης επανασύστασης λίμνης Ξυνιάδας (*ΕΚΒΥ* 2008)	**310**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και στόχοι της διατριβής

Ως γνωστόν, το φυσικό περιβάλλον παρέχει βασικούς πόρους, όπως νερό και τρόφιμα για την επιβίωσή μας. Το νερό και το έδαφος αποτελούν ουσιώδεις συνιστώσες κάθε οικοσυστήματος, καθώς κάθε ένας από εμάς κυριολεκτικά εξαρτάται καθημερινά από αυτές, καθιστώντας έτσι την παράμετρο της ποιότητάς τους πολύ σημαντική για την ανθρώπινη ύπαρξη και υγεία.

Ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η βιομηχανία, η εξόρυξη μεταλλευμάτων και η αστικοποίηση διαταράσσουν το οικοσύστημα προκαλώντας σοβαρές περιβαλλοντικές αλλά και κοινωνικές συνέπειες. Επιπλέον, η κάλυψη των αυξανόμενων ρυθμών παραγωγής προϊόντων με την εντατικοποίηση της γεωργίας, σε συνδυασμό με γεωγενείς αιτίες, την ίδια στιγμή εμπλουτίζουν και επιβαρύνουν τα νερά και τα εδάφη με στοιχεία και βαρέα μέταλλα. Αποτελούν δε πρόβλημα σε παγκόσμια κλίμακα και σημαντικό κίνδυνο για τη βιοποικιλότητα και την ανθρώπινη υγεία, υποβαθμίζοντας έτσι την ποιότητα ζωής.

Ως αντίμετρο, η σωστή διαχείριση των υδάτινων και εδαφικών πόρων απαιτεί μια βαθιά κατανόηση των διεργασιών που τους ελέγχουν, οδηγώντας στην αποφυγή ανεπιθύμητων οικονομικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων. Κατά συνέπεια, η έρευνα της συμπεριφοράς των επικίνδυνων στοιχείων σε νερό και έδαφος, σε συνάρτηση με τις υδατικές και εδαφικές ιδιότητες, αλλά και τη λιθολογία μιας περιοχής, μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τους μηχανισμούς και την πηγή προέλευσής τους.

Στη λεκάνη του οροπεδίου Δομοκού (λεκάνη Δομοκού), το οποίο αποτελεί πεδίο έρευνας της παρούσας διατριβής, τόσο οι ποιοτικές όσο και οι ποσοτικές πληροφορίες για τις παραπάνω επιδράσεις κυμαίνονται από ελλιπείς έως ανύπαρκτες, γεγονός που καθιστά τη μέτρηση των παραπάνω παραγόντων αναγκαίο σκοπό. Επιπλέον, εμφανή είναι τα προβλήματα και οι αρνητικές επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο και στα εδάφη που προέκυψαν από την αποξήρανση της λίμνης Ξυνιάδας. Η υποβάθμιση της φυσικής δομής και της γονιμότητάς τους, μαζί με τη μείωση του υπόγειου υδατικού δυναμικού, προκάλεσε μείωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, τα αποτελέσματα παρόμοιων ερευνών και τους σύγχρονους προβληματισμούς σχετικά με την υδρογεωλογική και γεωχημική κατάσταση των οικοσυστημάτων, το αντικείμενο και οι στόχοι της παρούσας διατριβής διαμορφώνονται ως εξής:

- Ο καθορισμός των γεωγενών και ανθρωπογενών παραγόντων που επηρεάζουν τους υδάτινους και εδαφικούς πόρους της περιοχής έρευνας, η αναγνώριση των πιθανών πηγών ρύπανσης και η αξιολόγηση του επιπέδου αυτής σε σχέση με τα ευρωπαϊκά πρότυπα ποιότητας.
- Η σύγκριση των λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς έτσι ώστε να εντοπιστούν οι μεταξύ τους διαφορές και να διαπιστωθούν επιπλέον τα αποτελέσματα από την επέμβαση του ανθρώπου με την αποξήρανση της λίμνης Ξυνιάδας.
- Η καταγραφή της γεωγραφικής κατανομής των συγκεντρώσεων των στοιχείων με τη δημιουργία θεματικών υδροχημικών και γεωχημικών χαρτών.
- Να προσδιοριστεί και να αναλυθεί η γεωμορφολογία της περιοχής έρευνας και να δημιουργηθούν θεματικοί γεωμορφολογικοί χάρτες.
- Ο υπολογισμός, η ανάλυση και η χωρική ολοκλήρωση των παραμέτρων υδρολογικού ισοζυγίου, καθώς και η κατανομή τους με τη θεματικών ψηφιακών χαρτών.
- Ο υπολογισμός της ολικής απορροής του οροπεδίου Δομοκού με την καταγραφή της επιφανειακής απορροής και τη δημιουργία χρονοσειράς, για 18 μήνες.
- Ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης του οροπεδίου Δομοκού με τη

βοήθεια αδρομερούς εννοιολογικού μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής.

1.2 Πρότυπα στοιχεία διατριβής και η επιλογή της περιοχής έρευνας

Η παρούσα διατριβή αποτελεί την πρώτη εμπεριστατωμένη υδρογεωχημική περιβαλλοντική έρευνα στην περιοχή του οροπεδίου Δομοκού, γεγονός που συνιστά και ένα από τα βασικά στοιχεία πρωτοτυπίας της. Αναλυτικά αποτελεί:

- Την πρώτη ολοκληρωμένη εδαφοχημική έρευνα στην περιοχή του οροπεδίου.
- Την πλέον εμπεριστατωμένη υδροχημική έρευνα των υπογείων νερών στο οροπέδιο Δομοκού.
- Την πρώτη υδροχημική έρευνα των επιφανειακών νερών στο οροπέδιο Δομοκού.
- Προσδιορίζονται και αναλύονται για πρώτη φορά οι γεωμορφολογικοί παράγοντες της περιοχής έρευνας.
- Καταγράφεται η επιφανειακή απορροή και δημιουργείται χρονοσειρά μετρήσεων για 18 μήνες χωρίς κενά, καλύπτοντας ένα έλλειμμα πληροφορίας που υπήρχε για την περιοχή αυτή τα τελευταία χρόνια.
- Υπολογίζεται το υδρολογικό ισοζύγιο με την εφαρμογή για πρώτη φορά σε διδακτορική διατριβή του αδρομερούς εννοιολογικού μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής «ΖΥΓΟΣ». Το μοντέλο ρυθμίστηκε με βάση τις παρατηρημένες επί 18 μήνες τιμές απορροής γεγονός που αποτελεί πρωτοτυπία της μεθόδου.

Το οροπέδιο Δομοκού επιλέχθηκε ως περιοχή έρευνας της παρούσας διατριβής αφού στην περιοχή αυτή μέχρι σήμερα δεν είχε πραγματοποιηθεί καμιά παρόμοια έρευνα και επιπλέον επειδή:

- Εξαιτίας της αποξηραμένης λίμνης Ξυνιάδας, αλλά και λόγω της γεωλογικής ιδιαιτερότητας της ευρύτερης περιοχής της Όθρυος, έχει προσελκύσει το επιστημονικό ενδιαφέρον.
- Η μορφολογία, σε συνδυασμό με την τεκτονική της περιοχής, έχουν δημιουργήσει μία ισχυρή σχέση αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην κάλυψη/χρήση γης και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Αποτελεί μία γεωργική περιοχή που τα τελευταία χρόνια υφίσταται εκτεταμένες αλλαγές εξαιτίας των συνεχόμενων αλλαγών στο καθεστώς των επιδοτήσεων, αλλά και της εντατικοποίησης των καλλιεργειών.
- Αποτελεί μία περιοχή όπου αντικατοπτρίζεται έντονα η πίεση που ασκεί ο άνθρωπος στο φυσικό περιβάλλον αλλά και ο τρόπος που αυτή εκδηλώνεται (συνύπαρξη της εντατικής γεωργίας με τις διαβαθμίσεις της φυσικής βλάστησης).

1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Σε παγκόσμια βάση έχει πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών εργασιών με αντικείμενο τις γεωγενείς διεργασίες και ανθρωπογενείς επιδράσεις στα υπόγεια νερά, εξαιτίας των υιοθετούμενων γεωργικών πρακτικών (*Kolle et al.* 1985, *Solley et al.* 1990, *Postma et al.* 1991, *Engesgaard and Kipp* 1992, *Ju et al.* 2006, *Savic et al.* 2006, *Krajnc et al.* 2007, *Jiang et al.* 2009; *Magesh et al*. 2012) ή για την ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων από λύματα αστικής προέλευσης (*Sicora et al.* 1976, *LeBlanc* 1984, *Barber et al.* 1988, *Mull et al.* 1992, *Stollenwerk* 1996, *Eiswirth et al. 2000, Wakida and Lerner* 2005).

Στην Ελλάδα, επίσης, ένας μεγάλος αριθμός εργασιών έχει πραγματοποιηθεί με αντικείμενο τα προβλήματα που δημιουργούνται στα υπόγεια νερά από τη γεωργία και τα λύματα που προέρχονται από τις αστικές περιοχές (*Lambrakis et al.* 2001, *Stamatis and Boudouris* 2003, *Antonakos and Lamprakis* 2007, *Angelopoulos et al.* 2009, *Champidi et al.* 2011, *Stamatis et al.* 2011b).

Επιπλέον, μεγάλος αριθμός επιστημονικών ερευνών έχει πραγματοποιηθεί σε όλο τον κόσμο για τις γεωγενείς επιδράσεις και τις ανθρωπογενείς επιρροές από τη γεωργία στα εδάφη (*Lieth and Markert* 1990, *Steinnes and Njastad* 1995, *Hesteberg* 1998, *Xu et al.* 2002,

Nicholson et al. 2003, *Reimann and Caritat* 2005, *Shomar et al.* 2005, *Reimann et al.* 2007a,b, *Oze et al.* 2007, *Galán et al.* 2008, *Appleton et al.* 2012), όπως επίσης το ίδιο έχει γίνει και στην Ελλάδα (*Misopolinos* 1990, *Devkota and Schmidt* 2000, *Zalidis et al.* 2002, *Shaheen et al.* 2009, *Megremi* 2010, *Antibachi et al.* 2012, *Kelepertzis et al.* 2012).

Η περιοχή έρευνας, η οποία αποτελείται από τις λεκάνες Ξυνιάδας και Σκοπιάς, υφίσταται τα αποτελέσματα της ανθρώπινης παρέμβασης στο περιβάλλον με την αστικοποίηση, την αποξήρανση της λίμνης Ξυνιάδας και με την εντατική εκμετάλλευση της γεωργικής γης.

Οι παλιότερες μελέτες καθόρισαν στη λεκάνη Ξυνιάδας την υδρογεωλογική κατάσταση και προσδιόρισαν το υδρολογικό ισοζύγιο (*Σούλιος* 1975), αποσαφήνισαν τη σχέση μεταξύ φυσιογραφίας και εδαφών (*Συλλαίος* 1981), μελέτησαν τις φυσικές ιδιότητες των εδαφών (*Misopolinos et al.* 1988) και προσδιόρισαν παλυνολογικά την εξέλιξη της τέως λίμνης (*Bottema* 1979, *Harrison and Digerfeldt* 1993, *Yu and Harrison* 1995, *Yu* 1996).

Οι πιο πρόσφατες εργασίες προσδιόρισαν την παλαιογεωγραφία και την παλαιοκλιματολογία (*Digerfeldt et al.* 2000, *Digerfeldt et al.* 2007) και διέγνωσαν τα λιγνιτικά κοιτάσματα της αποξηραμένης λίμνης (*Δημητρίου και Αραπογιάννης* 2001), μελέτησαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταλλείων χρωμίτη (*Ράσσιου κ.ά.* 2003), ενώ υπολογίστηκε το υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης Ξυνιάδας στα πλαίσια της διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου (*Ευστρατιάδης κ.ά.* 2008) όπως και της λεκάνης Σκοπιάς (*Τζούκα* 2007).

Επιπλέον έρευνες στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας μελέτησαν την επανασύσταση της λίμνης (*ΕΚΒΥ* 2008), καθόρισαν τη ρύπανση των υπογείων υδάτων από νιτρικά ιόντα (*Τσιούμας κ.ά.* 2008), αξιολόγησαν την ποιότητα της τύρφης και των ανθρακικών κοιτασμάτων για την παραγωγή οργανικών λιπασμάτων (*Giannouli et al.* 2009) και προσδιόρισαν τη στρωματογραφία της (*Κάρμης* 2010).

Επιπροσθέτως, η γενική υδρογεωλογική κατάσταση του οροπεδίου αποτυπώθηκε από το ΙΓΜΕ (*Τσιούμας και Ζόραπας* 2010), ενώ το Υπουργείο Περιβάλλοντος (*ΥΠΕΚΑ* 2012) πραγματοποίησε έρευνα υπογείων υδάτων για την κατάρτιση των σχεδίων διαχείρισης των λεκανών απορροής στα πλαίσια της οδηγίας (2000/60) του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής διερευνήθηκε η ποιότητα των επιφανειακών υδάτων *Charizopoulos et al*. (2011) και μελετήθηκε η ποιότητα των υπογείων νερών των λεκανών Ξυνιάδας (*Charizopoulos et al*. 2013a) και Σκοπιάς (*Charizopoulos et al*. 2013b).

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1 Το Νερό

2.1.1 Το νερό στο φυσικό περιβάλλον

«Ύδωρ αρχήν απάντων και γένεσιν τίθεσθαι»
«Το νερό είναι αρχή και καταγωγή όλων των πραγμάτων» : Θαλής ο Μιλήσιος.

Το νερό είναι από τους σπουδαιότερους παράγοντες για την ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας. Είναι ανανεώσιμος φυσικός πόρος και η βιώσιμη διαχείριση του συμβάλλει στην αειφορία του Περιβάλλοντος και την προαγωγή της Υγείας. Ποσοστό περίπου 0,5% από την ολική ποσότητα του νερού στη φύση (υπογείου και επιφανειακού) προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση και αποτελεί το 60% περίπου της μάζας του σώματος (http://www.technicalreview.gr). Απαντάται και στις τρεις μορφές στη γη: στερεή (πάγος, χιόνι), υγρή (νερό πηγών, ποταμών, θαλασσών) και αέρια (υδρατμοί στην ατμόσφαιρα), ενώ με μορφή πάγου υπάρχει και σε άλλους πλανήτες του ηλιακού συστήματος. Ο συνολικός όγκος νερού που υπάρχει στη γη εκτιμάται, ότι είναι γύρω στα 1.358 x 10^6 km^3. Απ' αυτήν την ποσότητα τη «μερίδα του λέοντος» κατέχει το αλμυρό νερό των ωκεανών (1.320x10^6 km^3 - 97.2 %), ενώ δεύτερο σε σειρά έρχεται το νερό που εμφανίζεται ως χιόνι ή πάγος (30x10^6 km^3- 2.15 %). Αμέσως μετά έρχεται το υπόγειο νερό η συνολική ποσότητα του οποίου (8x10^6 km^3- 0.62 %) μοιράζεται ακριβώς στο νερό που βρίσκεται σε βάθος κάτω από 800 m από την επιφάνεια της γης - και πρακτικά είναι αδύνατο να εκμεταλλευθεί - και σ' αυτό που βρίσκεται μέχρι το βάθος των 800 m. Το υπόλοιπο, δηλαδή περίπου το 0,03%, αποτελεί το νερό των ποταμών, των λιμνών και το νερό των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Η ανανέωση μέρους αυτού του συνολικού όγκου νερού γίνεται από τις κατακρημνίσεις, που το ετήσιο άθροισμα τους εκτιμάται σε 0,5x10^6 km^3, δηλαδή περίπου 40 φορές περισσότερο από τον όγκο των υδρατμών στην ατμόσφαιρα (*Λατινόπουλος & Θεοδοσίου* 2007).

Σε κάθε περιοχή προσδιοριζόμενη από φυσικά όρια ή από πολιτικά επιτελείται ένα τμήμα του γενικού κύκλου του νερού. Εμφανίζονται συνεχείς, ασυνεχείς και προς διάφορες κατευθύνσεις ανταλλαγές υδατικού δυναμικού, στην κατεύθυνση της κάθε φορά διαμορφούμενης διαφοράς δυναμικού (φορτίου). Είναι φανερή έτσι η περιβαλλοντική σημασία που έχει για κάθε θεωρούμενη περιοχή, η ποσότητα και τα χαρακτηριστικά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, καθώς και η τροφοδοσία και οι απώλειες των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων (*Στουρνάρας* 2007). Η αλληλεπίδραση νερού και περιβάλλοντος είναι διαχρονική και λόγω αυτής της ιδιότητας, καθώς και της συνεχούς ροής, το νερό αποτελεί βασικό γεωλογικό παράγοντα (*Βουδούρης* 2009). Στο νερό βρίσκεται μεγάλος αριθμός διαλυμένων στοιχείων, γι' αυτό και αποτελεί βασική πηγή των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων. Η συγκέντρωση τους σχετίζεται με τους γεωλογικούς σχηματισμούς και την γεωχημική κατανομή τους, καθώς και από το οξειδοαναγωγικό περιβάλλον. Τα περισσότερα από τα στοιχεία που περιέχει είναι απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Είναι κύρια δομικά στοιχεία της λειτουργίας του, χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρολύτες και αποτελούν συστατικά των υγρών του σώματος και είναι συστατικά των ενζύμων και των ορμονών.

2.1.2 Επιφανειακά και υπόγεια νερά

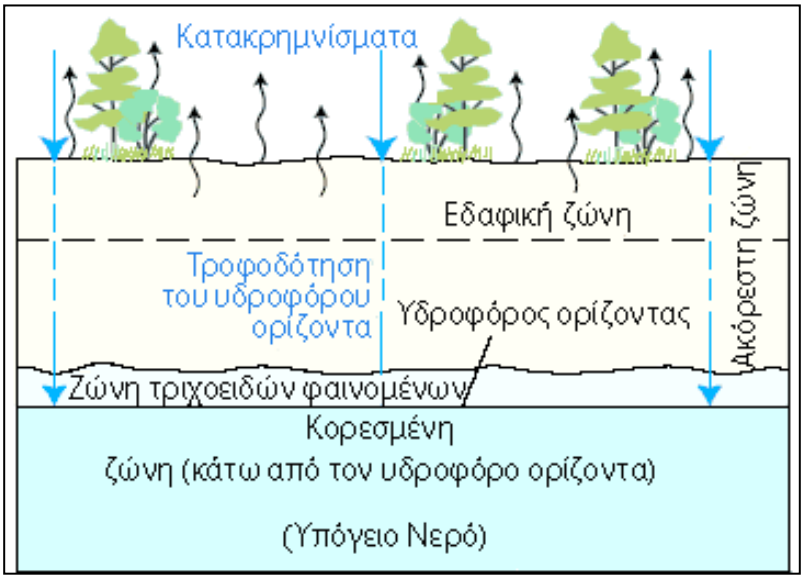
Το νερό της φύσης διακρίνεται σε επιφανειακό και υπόγειο. Επιφανειακό είναι το νερό των λιμνών και των ποταμών, ενώ υπόγειο είναι το νερό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ποταμοί αποτελούν δυναμικά συστήματα και είναι οι κύριοι αποδέκτες των νερών απορροής των λεκανών, ενώ μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες ουσιών υπό διάλυση με προέλευση είτε φυσική είτε ανθρωπογενής. Η ποιότητα του επιφανειακού νερού επηρεάζεται στη διαδρομή του από την ατμόσφαιρα, από τα πετρώματα

από τα οποία διέρχεται, από ανθρωπογενείς παράγοντες, από τις υδροδυναμικές συνθήκες μεταφοράς και ανάμιξης του, αλλά και από τις επικρατούσες χημικές, βιολογικές και φυσικές συνθήκες (*Αντωνόπουλος* 1995, *Tricca et al.* 1999, *Bellos et. al. 2004, Bellos and Sawidis 2005, Στουρνάρας* 2007). Η χημική σύσταση του επιφανειακού νερού μπορεί να επηρεαστεί ακόμη από την έκπλυση των εδαφών και την τροφοδοσία του με γεωργικά φάρμακα, απορρίμματα και λύματα, εκεί όπου η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους το επιτρέπει και οι δυνατότητες αποστράγγισης είναι περιορισμένες. Η ποσότητα και ο τύπος των ορυκτών υλών που διαλύονται, εξαρτώνται από τη χημική σύσταση και τη δομή των πετρωμάτων.

Τα υπόγεια υδατικά συστήματα είναι συγκεντρώσεις υπόγειου νερού, που εμφανίζουν τα χαρακτηριστικά της υπόγειας ροής και είναι συνδεδεμένα με τη στερεή φάση του περιβάλλοντος (εδάφη, πετρώματα), στην οποία περιέχονται (*Στουρνάρας* 2007). Τα υπόγεια νερά αποτελούν μέρος του υδρολογικού κύκλου του νερού, με το μεγαλύτερο μέρος τους να προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι κλπ) και ένα μέρος τους από κατεισδύσεις των επιφανειακών νερών, από λίμνες, ποτάμια κλπ. Το νερό της κατείσδυσης, αφού διαπεράσει τον εδαφικό ορίζοντα και τμήμα του υπεδάφους, προστίθεται στο υπόγειο νερό. Μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα το αποθηκευμένο νερό δεν ακινητοποιείται, αν και αυτό συμβαίνει μερικές φορές όταν οι γεωλογικές συνθήκες το επιτρέπουν, αλλά συνήθως κινείται μεταξύ των διάκενων των πετρωμάτων και του εδάφους υπακούοντας σε βασικές αρχές (*Στουρνάρας* 2007, *Σταμάτης* 2009a, Σχήμα 2.1).

Η χημική σύσταση του υπόγειου νερού καθορίζεται από τη φύση των πετρωμάτων δια μέσου των οποίων κινείται, από το χρόνο επαφής νερού – πετρώματος και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες , ενώ οι γεωλογικοί σχηματισμοί που μπορούν να φιλοξενήσουν και να επιτρέψουν να κινηθεί το υπόγειο νερό ονομάζονται υδροφορείς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υδροφορέων αποτελούν οι αλλουβιακές αποθέσεις άμμων και χαλίκων.

Αντίθετα τα αδιαπέρατα στρώματα, ενώ έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουν – έστω και σε μικρές ποσότητες – νερό, πρακτικά δεν έχουν καμιά ικανότητα μεταφοράς του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα αργιλικά πετρώματα. Ενδιάμεση κατηγορία των δύο προαναφερθέντων αποτελούν σχηματισμοί που έχουν σημαντικά μικρότερη των διαπερατών ικανότητα μεταφοράς νερού. Τα στρώματα αυτά χαρακτηρίζονται ως ημιπερατά και τυπικό παράδειγμά τους είναι οι φακοί αργίλου σε εναλλαγές με αμμώδεις σχηματισμούς (*Λατινόπουλος* 1995).



Σχήμα 2.1.
Η κίνηση του νερού από την επιφάνεια προς τα εδαφικά στρώματα και τα πετρώματα (http://ga.water.usgs.gov/).

2.1.3 Γεωγενής και ανθρωπογενής επιβάρυνση των υδάτων

Το νερό των υδατικών συστημάτων μεταβάλλεται ποσοτικά και ποιοτικά εξαιτίας γεωγενών διαδικασιών σαν αποτέλεσμα δραστηριοτήτων της φύσης και της εξελίξεως των υδρολογικών δεδομένων, είτε από τις άμεσες και έμμεσες ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Γεωγενής επιβάρυνση

Οι φυσικές και γεωλογικές διαδικασίες επηρεάζουν τον χημισμό των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων με διάφορους τρόπους, όπως: α) Την εξάτμιση που οδηγεί σε αύξηση ιοντικών συγκεντρώσεων, β) την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, γ) την αποσάθρωση-διάλυση των ορυκτών, που επιβαρύνει τα νερά και τα εμπλουτίζει με διάφορα στοιχεία, όπως ασβέστιο, μαγνήσιο, πυρίτιο, θειικά, σίδηρο κ.λ.π., δ) την απόθεση ορυκτών, ε) τις αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής με την διείσδυση της θάλασσας ή την κατείσδυση όξινης βροχής και στ) τα όξινα νερά απορροής των μεταλλείων, καθώς η οξείδωση των μικτών θειούχων ορυκτών συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υδάτων με πολλά μεταλλικά στοιχεία. Επιπρόσθετα, ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα γεωγενούς επιβάρυνσης είναι οι περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα. Μετά την έξοδο των τοξικών αεριών και των διαφόρων μεταλλικών ιχνοστοιχείων στην ατμόσφαιρα, αυτά επιστρέφουν στο έδαφος με τη βροχή επιβαρύνοντάς το, καθώς και τους υδροφόρους ορίζοντες, λόγω της κατείσδυσης του νερού (*Καλλέργης* 2000).

Ανθρωπογενής επιβάρυνση

Διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης που σχετίζονται με γεωργικές δραστηριότητες (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, απόβλητα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων), με τη βιομηχανία (υγρά και στερεά απόβλητα) και την οικιστική ανάπτυξη (λύματα και απορρίμματα) παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιοτική υποβάθμιση των υδάτινων πόρων. Επιπλέον, επιρροές της ποιότητας του υπόγειου νερού από την επιφάνεια παρουσιάζονται ύστερα και από μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εξαιτίας της οικονομικής του εκμετάλλευσης, καθώς οι ποσότητες νερού μετά τη χρήση τους επιστρέφουν ποιοτικά υποβαθμισμένες στο περιβάλλον. Η υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών υδροσυστημάτων (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες), όσο και των υπόγειων νερών είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων επεμβάσεων, όπου τα διαλυμένα και αραιωμένα άλατα μπορούν να διεισδύσουν διάμεσου των επιφανειακών στρωμάτων και να αυξήσουν τη συγκέντρωση των αλάτων του υπόγειου νερού (*Δημόπουλος* 1985, *Βουδούρης* 2009).

2.1.4 Σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης και μόλυνσης

Ρύπανση (pollution) θεωρείται οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού, ενώ η μόλυνση (contamination) περιορίζεται στη ρύπανση εκείνη που αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Η μόλυνση έχει μικροβιακό χαρακτήρα και συνδέεται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων (*Στουρνάρας* 2007, *Βουδούρης* 2009).

Διακρίνονται δύο ομάδες πηγών ρύπανσης και μόλυνσης των υδάτων: η σημειακή και η κατανεμημένη (μη σημειακή). Σημαντικές σημειακές πηγές ρύπανσης και μόλυνσης είναι οι χωματερές, τα αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, τα πηγάδια διάθεσης αποβλήτων, οι διαρροές σωλήνων κλπ. (*LeBlanc* 1984, *Barber et al.* 1988, *Karageorgis et al.* 2003, *Eiswirth et al.* 2000, *Wakida and Lerner* 2005). Αντίθετα κατανεμημένη (μη σημειακή) πηγή ρύπανσης αποτελούν οι αγροτικές δραστηριότητες (*Postma et al.* 1991, *Carpenter et al.* 1998, *Sharpley et al.* 2003, *Stamatis et al.* 2011b, *Zhu et al.* 2012). Η μη σημειακή ρύπανση αποτελεί τα τελευταία χρόνια σημαντικό κίνδυνο για την ποιότητα του νερού εξαιτίας των αλλαγών στις χρήσεις γης και στις καλλιεργητικές πρακτικές (*Basnyat et. al.* 2000). Η ρύπανση αν και μπορεί να γίνει αντιληπτή κοντά στο σημείο, όπου αυτή προκαλείται, αρκετά συχνά εμφανίζεται και πολύ μακρύτερα απ' την εστία της, εξαιτίας φαινομένων μεταφοράς, διάχυσης με τον υδρολογικό κύκλο κλπ.

Η πιθανότητα ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων είναι μεγαλύτερη από των υπογείων,

εξαιτίας της άμεσης επαφής τους με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Σε αντίθεση ο χρόνος που χρειάζεται για την απορρύπανση των υπογείων νερών είναι μεγαλύτερος και πιο δαπανηρός, λόγω της δυσκολίας εντοπισμού του ρύπου ή πρακτικά αδύνατος, όπως για παράδειγμα η υφαλμύρωση (*Καλλέργης* 2000). Σύμφωνα με την *US Environmental Protection agency* (http://water.epa.gov) οι πηγές ρύπανσης και μόλυνσης των υπογείων νερών διακρίνονται σε:

1) Ρύπανση υπογείων νερών που δημιουργείται στην επιφάνεια του εδάφους και περιλαμβάνει: α) Διήθηση μη καθαρού επιφανειακού νερού, β) επιφανειακή διάθεση στερεών και ρευστών αποβλήτων, γ) σκουπιδότοπους, δ) διάθεση αποβλήτων και λάσπης από σταθμούς επεξεργασίας, ε) ρίψη αλατιού στους δρόμους, στ) συσσώρευση ζωοτροφών, χαλασμένων φρούτων κλπ, ζ) λιπάσματα, φυτοφάρμακα, κ.ά.

2) Ρύπανση υπόγειων νερών που δημιουργείται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα και περιλαμβάνει: α) Επιφανειακές δεξαμενές διάθεσης αποβλήτων, β) διαρροή από υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης, γ) σηπτικούς και διηθητικούς βόθρους, δ) διαρροή από σωλήνες μέσα στο έδαφος, ε) χώροι ταφής απορριμμάτων, στ) λεκάνες αποστράγγισης, ζ) νεκροταφεία κ.ά.

3) Ρύπανση υπόγειων νερών που δημιουργείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα και περιλαμβάνει: α) Διάθεση αποβλήτων σε εκσκαφές με νερό, β) αγροτικά πηγάδια στράγγισης και αρδευτικές διώρυγες, γ) υπεδάφια αποθήκευση, δ) διάθεση αποβλήτων σε πηγάδια, ε) ερευνητικές γεωτρήσεις, στ) εγκαταλειμμένα πηγάδια, ζ) ορυχεία κ.ά.

Πιο δόκιμη ταξινόμηση των πηγών ρύπανσης των υπόγειων νερών, θεωρείται αυτή που γίνεται ανάλογα με τις δραστηριότητες ή τις διεργασίες που την προκαλούν. Με βάση το κριτήριο αυτό έχουμε κατηγορίες ρύπανσης από: α) βιομηχανικές δραστηριότητες, β) αγροτικές δραστηριότητες, γ) αστικές και οικιακές δραστηριότητες, δ) ραδιενεργές ουσίες και ε) φυσικές διεργασίες (*Λατινόπουλος & Θεοδοσίου* 2007).

2.1.5 Ρύπανση των υδάτων σε βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα είναι χημικά σταθερά ανόργανα στοιχεία που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο του σιδήρου και βρίσκονται στην αβιοτική ύλη και σε όλους τους βιοτικούς οργανισμούς. Είναι απαραίτητα στοιχεία στην ανθρώπινη διατροφή αλλά σε μικρές ποσότητες, καθώς η υπέρβαση αυτών μπορεί να είναι καταστροφική για την ανθρώπινη υγεία.

Τα βαρέα μέταλλα εισέρχονται στο σώμα του νερού από πολλές πηγές. Μέσα από φυσικές πηγές, όπως τα πετρώματα και το έδαφος, μέσω των μεταλλευμάτων εξόρυξης και της επεξεργασίας τους, της απορροής ορυχείων, των οικιακών λυμάτων, των στερεών αποβλήτων από τους χώρους διάθεσης, την απόρριψη βιομηχανικών αποβλήτων και μέσω των λιπασμάτων, των φυτοφαρμάκων και βελτιωτικών εδάφους, τα οποία περιέχουν μέταλλα (*Kabata-Pendias and Pendias* 1992, *Zarazua et al.* 2006, *Karamanis et al.* 2008, *Σταμάτης* 2009b, http://chimikoergastirio.blogspot.com) (Πίνακας 2.1).

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά, με εξαίρεση το σίδηρο, είναι μικρότερες συνήθως του 1mg/l, εξαιτίας της δυσδιαλυτότητάς των ορυκτών και των άμορφων ουσιών τους στο νερό και της προσρόφησής τους από τα αργιλικά ορυκτά, τα οργανικά υλικά και τα λοιπά ορυκτά ή άμορφα συστατικά που αποτελούν το πορώδες μέσο (*Καλλέργης* 2000). Τα βαρέα μέταλλα καταλήγουν μέσω της επιφανειακής απορροής στους επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες, είτε μέσω της έκπλυσης και της διήθησης στα υπόγεια νερά. Παρόλα αυτά, το μεγαλύτερο ποσοστό των βαρέων μετάλλων ανθρωπογενούς προελεύσεως παραμένει σε αδιάλυτη μορφή στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, μην αφήνοντας τα στοιχεία να εκπλυθούν προς τους υπόγειους υδροφόρους. Κατά συνέπεια παρατηρείται μεγάλη διαφορά στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μεταξύ των υπόγειων νερών και των αντίστοιχων πλησιέστερων σημείων υδροληψίας εδαφικών δειγμάτων *(Alloway* 1995).

Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται μείζον πρόβλημα καθώς: (α) δεν αποικοδομούνται σε αντίθεση με τις οργανικές ενώσεις, κι έτσι συμβάλλουν στο φαινόμενο της βιοσυσσώρευσης και βιομεγέθυνσης με όλες τις αρνητικές συνέπειες που μπορεί να έχουν για το περιβάλλον και τον άνθρωπο, (β) είναι σχετικά ακίνητα στο έδαφος και (γ) συσσωρεύονται στο ανώτερο εδαφικό στρώμα με μεγάλες πιθανότητες απορρόφησής τους απ' τα φυτά και τελική κατάληξη την κατανάλωση απ' τον άνθρωπο *(Kabata-Pendias and Pendias* 2001, www.rce.rutgers.edu).

Πίνακας 2.1. Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων βαρέων μετάλλων (σε ppm) που περιέχουν ορισμένα λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους (www.lenntech.com/heavy-metals.htm).

	Ορυκτός Φώσφορος	**Τρι-φωσφορικό άλας (triple superphosphate)**	**Νιτρική Αμμωνία**	**Κοπριά βοοειδών**	**Κοπριά πουλερικών**	**Κοπριά χοίρων**
Cd	1,3-48,8	5,0-6,2	<0,20	0,7	0,20-0,30	0,50-0,82
Cr	33,2-140	88,9	-	-	<1,0-7,7	2,2-13
Cu	9,6	3,2-3,5	<0,60	18	48-78	250-600
Pb	4,6-29,2	11,1-13,2	<0,40	7,5	6,0-8,4	7,0-11
Ni	16,8-50,4	15,6-25,2	<0,20	9,6	7,1-9,0	11-33
Zn	78,8-382	61,3	-	-	330-456	540-1.200

2.1.6 Νομοθεσία περί προστασίας των υδατικών πόρων

Το νερό αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής στη γη και για ανθρώπινη κατανάλωση χρησιμοποιείται τόσο το υπόγειο όσο και το επιφανειακό νερό, του οποίου τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα πρότυπα ποιότητας.

Με βάση αυτή τη θεώρηση, η Ευρωπαϊκή Ένωση για να αναπροσαρμόσει την οδηγία 80/778/ΕΟΚ που ίσχυε μέχρι τις 25/12/03, προχώρησε στη διαμόρφωση της οδηγίας 98/83/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου της 3ης Νοεμβρίου 1998 «σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης». Η προσαρμογή της ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία έγινε με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ Β΄ 892/11-07-2001). Σύμφωνα με αυτή ως «πόσιμο» νερό νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε στη φυσική του κατάσταση, είτε μετά από επεξεργασία, ανεξάρτητα από την προέλευση του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο ή συσκευασμένο σε φιάλες ή δοχεία. Βασικός στόχος της 2600/2001 ήταν η προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις δυσμενείς επιπτώσεις που οφείλονται στην ρύπανση ή/και μόλυνση του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, διασφαλίζοντας ότι είναι υγιεινό και καθαρό.

Επιπλέον, οι διαρκώς αυξανόμενες πιέσεις στο υδατικό περιβάλλον καθιστούσαν ως αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Στα πλαίσια αυτά η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στη διαμόρφωση της Οδηγίας Πλαισίου 2000/60/ΕΚ (τέθηκε σε ισχύ στις 22 Δεκεμβρίου 2000) για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Η Οδηγία συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων (http://www.ypeka.gr). Με το νόμο 3199/2003 έγινε η εναρμόνιση του εθνικού δικαίου προς τις διατάξεις της Οδηγίας, ενώ με το προεδρικό διάταγμα 51/2007 έγινε ο καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας.

Τα κύρια σημεία της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ είναι:

- Το νερό δεν είναι ένα εμπορικό προϊόν, αποτελεί κληρονομιά, πρέπει να προστατεύεται και να τυγχάνει της κατάλληλης μεταχείρισης.
- Πρώτος στόχος αποτελεί η ποιοτική βελτίωση των υδατικών πόρων και δεύτερος στόχος της ποσότητας, ενώ η διαχείριση υδατικών πόρων γίνεται στο πλαίσιο της ενιαίας λεκάνης απορροής ενός ποταμού.
- Εκτιμώνται και επιβάλλεται μακροχρόνιος σχεδιασμός έργων προστασίας των ανανεώσιμων φυσικών πόρων.
- Ενσωματώνονται στην προστασία και διατήρηση των υδατικών πόρων και άλλοι τομείς της κοινοτικής πολιτικής, όπως η ενεργειακή πολιτική, η γεωργική πολιτική κλπ.
- Απαιτείται η προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και αποτροπή της περαιτέρω μόλυνσής τους.
- Η κατάσταση παρακολουθείται σε συγκρίσιμη βάση σε όλη την Κοινότητα, καθιερώνεται η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και εξασφαλίζεται η συστηματική ενημέρωση και η συμμετοχή του κοινού στις αποφάσεις.
- Δίνεται έμφαση στον μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες.

Στη συνέχεια, η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στη διαμόρφωση της Οδηγίας 2006/118/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 2006 της Ευρωπαϊκής Ένωσης «σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και την υποβάθμιση», ώστε με την θέσπιση κατάλληλων μέτρων πρόληψης και ελέγχου της ρύπανσης των υπογείων υδάτων, καθώς και πρόληψης της υποβάθμισης της κατάστασής τους, να διασφαλίζεται η προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος. Τα θεσπιζόμενα μέτρα περιλαμβάνουν κυρίως: α) κριτήρια για την αξιολόγηση της καλής χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων και β) κριτήρια για τον εντοπισμό και την αναστροφή σημαντικών και διατηρούμενων ανοδικών τάσεων και κριτήρια για τον καθορισμό σημείων εκκίνησης για την αναστροφή των τάσεων.

Με την αριθμ. 39626 ΚΥΑ (ΦΕΚ Β΄ 2075/25-09-2009) έγινε ο καθορισμός των μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από την ρύπανση και την υποβάθμιση, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας, και συμπληρώθηκαν οι διατάξεις που αναφέρονται στην πρόληψη και τον περιορισμό της εισαγωγής ρύπων σε υπόγεια ύδατα του ν. 3199/2003 και του π.δ. 51/2007.

Επιπλέον και κατ' εξουσιοδότηση των διατάξεων του Νόμου 3199/2003 έχουν εκδοθεί 3 Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις με θέματα:

α) «Οργάνωση της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων» (ΚΥΑ 49139/24- 11-2005, ΦΕΚ 1695Β 72-12-2005),

β) «Διάρθρωση της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας» (ΚΥΑ 47630/16-11-2005, ΦΕΚ 1688Β/1-12-2005) με την οποία συγκροτήθηκαν οι Διευθύνσεις Υδάτων των 13 Περιφερειών της χώρας και

γ) «Κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργων αξιοποίησης τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών» (ΚΥΑ 43504/5-12- 2005, ΦΕΚ 1784Β720-12-2005), καθώς επίσης και 2 Αποφάσεις Υπουργού ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (με αριθ. 26798/22-6-2005 & 34685/6-12-2005, ΦΕΚ 1736 Β 79-12-2005) για τη συγκρότηση και λειτουργία του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων.

Επιπρόσθετα με τα ανωτέρω και πρόσφατα εκδόθηκαν:

- Η Κοινή Υπουργική Απόφαση 51354/2641/Ε103/2010 «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2008/105/ ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 "σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ)

στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και σχετικά με την τροποποίηση και μετέπειτα κατάργηση των οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου", καθώς και για τις συγκεντρώσεις ειδικών ρύπων στα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα και άλλες διατάξεις» (Β΄ 1909).

- Η Απόφαση αριθμ. Οικ. 706/2010 της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων «Καθορισμός των Λεκανών Απορροής Ποταμών της χώρας και ορισμού των αρμόδιων Περιφερειών για τη διαχείριση και προστασία τους» (Β' 1383).
- Η ΚΥΑ 140384/2011 «Ορισμός Εθνικού Δικτύου Παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων με καθορισμό των θέσεων (σταθμών) μετρήσεων και των φορέων που υποχρεούνται στην λειτουργία τους, κατά το άρθρο 4, παράγραφος 4 του Ν. 3199/2003» (Β΄ 2017) (*ΥΠΕΚΑ* 2012).

2.2 Το Έδαφος

2.2.1 Το έδαφος ως φυσικός πόρος

Το έδαφος είναι συλλογή φυσικών «σωμάτων» στην επιφάνεια της γης διαφοροποιημένο σε ορίζοντες από ορυκτά και οργανικά συστατικά διαφορετικού βάθους, που διαφέρει από το μητρικό πέτρωμα ως προς τη μορφολογία, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες και τα βιολογικά χαρακτηριστικά (*Joffe* 1936). Το έδαφος μπορεί να έχει τροποποιηθεί ακόμη και από την ανθρώπινη επέμβαση, περιέχει ζωντανούς οργανισμούς (living matter), ενώ έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει την ανάπτυξη φυτών (*Soil Survey Staff* 1975).

Το έδαφος είναι ένας φυσικός πόρος, από τον οποίο είναι άμεσα εξαρτημένος και συνδεδεμένος ο άνθρωπος, καθώς (*Pappendick and Parr 1992*) αποτελεί ζωτικό πόρο παραγωγής τροφίμων και άλλων αγαθών για την στήριξη της αύξησης του πληθυσμού. Τα συστατικά του είναι άμεσα αξιοποιήσιμα και χρησιμεύουν για την παραγωγή γεωργικών και κτηνοτροφικών προϊόντων, από τα οποία προκύπτουν αρκετές πρώτες ύλες, οι οποίες αποτελούν επίσης φυσικούς πόρους. Επιπλέον λειτουργεί σαν μηχανισμός αποθήκευσης, διήθησης, ρύθμισης και μετατροπής των στοιχείων, συμβάλλοντας στην προστασία των νερών, ενώ αποτελεί το κατάλληλο έμβιο περιβάλλον για αρκετούς οργανισμούς.

Το έδαφος αποτελεί στην πραγματικότητα ένα μη ανανεώσιμο φυσικό πόρο καθώς, ενώ η ταχύτητα υποβάθμισης του είναι μεγάλη, η διαδικασία σχηματισμού και ανανέωσης του είναι εξαιρετικά αργή. Ο άνθρωπος, επικεντρωμένος στην ανάπτυξη και στην εξέλιξη, το χρησιμοποίησε αλόγιστα αποδίδοντας μικρότερη σημασία στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σήμερα όμως, αναγνωρίζεται πλέον, ότι το πρότυπο ανάπτυξης θα πρέπει να είναι απόλυτα συμβατό με τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος.

2.2.2 Σύσταση και ιδιότητες του εδάφους

Το επιφανειακό έδαφος είναι ένα σύμπλοκο μίγμα ανόργανων υλικών, οργανικής ύλης, που αποσυντίθεται ή σχηματίζει σύμπλοκα χουμικά οξέα, νερού, αέρα και ζωντανών μικροοργανισμών. Το έδαφος απαρτίζεται από τρεις φάσεις: α) τη στερεά, β) την υγρή, όπου μέσα στο νερό βρίσκονται διαλυμένα θρεπτικά στοιχεία και γ) την αέρια, όπου κυκλοφορούν στοιχεία χρήσιμα, όπως το οξυγόνο, ή επιβλαβή ως αποτέλεσμα των λειτουργιών του ριζικού συστήματος, μικροοργανισμών κλπ. Το κατάλληλο έδαφος για την ανάπτυξη των φυτών αποτελείται συνήθως κατά το μισό περίπου του όγκου του από στέρεα συστατικά (οργανικά και ανόργανα) και κατά το άλλο μισό από αέρα και νερό, τα οποία βρίσκονται στους εδαφικούς πόρους, δηλ. στα κενά ανάμεσα στους κόκκους των ανόργανων υλικών.

Τα εδάφη αποτελούν ένα ανοικτό περιβαλλοντικό τμήμα που βρίσκεται σε συνεχή ανταλλαγή και αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη βιόσφαιρα. Η σύσταση τους είναι αποτέλεσμα του μίγματος των οργανικών και ανόργανων υλικών, της

οργανικής ύλης που ενσωματώθηκε με τη βιοαποικοδόμηση, του μεγέθους των σωματιδίων, καθώς και του αέρα και του νερού που έχει εγκλωβισθεί στο έδαφος. Τα εδάφη αποτελούνται συνήθως από αναλογίες άμμου, λάσπης (ιλύος) και αργίλου και η υφή τους χαρακτηρίζεται από το μέγεθος των σωματιδίων των τριών αυτών υλικών.

Η άργιλος παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενεργότητα από τα ανόργανα συστατικά του εδάφους, καθώς αποτελείται κυρίως από ένυδρα πυριτικά άλατα ή από ένυδρα οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου, που λόγω της αρνητικής φόρτισής τους προσροφούν στην επιφάνειά τους κατιόντα (*Δάβη* 1990). Τα κυριότερα στοιχεία στο επιφανειακό έδαφος είναι τα στοιχεία: O_2 (υπό μορφή οξειδίων), Si, Al, Fe, Ca, Na, K και Mg. Μερικά από τα συνήθη οξείδια του εδάφους είναι: SiO_2, Fe_3O_4, MnO_2, F_2O_3, και τα ορυκτά $KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$, $CaO_3 \cdot (AlFe)_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$, $CaCO_3$ και $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ (*http://www.chem.uoa.gr/courses/organiki_1/oikotoxikologia/oiktx_K05.pdf*).

Τα εδάφη εκτός από τη σύσταση χαρακτηρίζονται από ιδιότητες, που καθορίζουν την κατανομή των διαφόρων ιχνοστοιχείων στα διάφορα εδαφικά συστατικά, και οι οποίες είναι (*Adriano* 1986, *Sposito* 1989, *Zak and Kling* 2006, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001):

- Η υφή και η δομή (σχετίζονται με το μέγεθος, το σχήμα των κόκκων και το βαθμό συσσωμάτωσης των σωματιδίων).
- Το πορώδες (τα διάκενα μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων του εδάφους).
- Η υγροσκοπικότητα (είναι η ικανότητα πρόσληψης και απόδοσης υγρασίας).
- Η ειδική θερμότητα (η ποσότητα ενέργειας για την ανύψωση της θερμοκρασίας κατά 1ºC, η οποία είναι συντελεστής ανάπτυξης φυτών).
- Η θερμική αγωγιμότητα (η ικανότητα του εδάφους στη μετάδοση θερμότητας).
- Η απορροφητική ικανότητα και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) (που εκφράζεται με την ποσότητα μονοσθενών κατιόντων που μπορούν να ανταλλαγούν ανά 100 γραμμάρια εδάφους).
- Το pH (καθορίζει τη διαλυτότητά, την προσρόφηση ή τη δέσμευση των θρεπτικών στοιχείων).
- Οι βιολογικοί παράγοντες (μικροοργανισμοί, ασπόνδυλα και σπονδυλωτά ζώα εδάφους που επηρεάζουν με τη δραστηριότητά τους την κίνηση του νερού και των ουσιών που περιέχει).

2.2.3 Γεωγενείς και ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις

Το έδαφος αποτελεί ένα από τους σημαντικότερους αποδέκτες των ιχνοστοιχείων στη φύση, τα οποία προέρχονται είτε από γεωγενείς διεργασίες, είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (*Georgakopoulos et al.* 1992, *Krzysztof et al*. 2004, *Hanesch et al.* 2007, *Liu et al.* 2005 *Reimann et al*. 2007a,b, *Appleton et al.* 2012), ενώ οι δυνατότητες κατακράτησής τους από το έδαφος δεν είναι απεριόριστες (*Adriano* 1986).

Ένα μέρος των ιχνοστοιχείων μπορεί να προέρχεται από τα μητρικά πετρώματα ή μπορεί να είναι αποτέλεσμα διαδικασιών πεδογένεσης, ως συνέπεια κλιματικών, γεωλογικών και βιολογικών διεργασιών. Παραδείγματα γεωγενούς επιβάρυνσης είναι τα όξινα νερά απορροής των μεταλλείων και η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Από τα ηφαίστεια εκπέμπεται τόσο κατά την διάρκεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας, όσο και κατά την διάρκεια των ενδιάμεσων περιόδων, εκτός από το μάγμα και τα πυροκλαστικά υλικά, ένα μεγάλο πλήθος από τοξικά αέρια και τοξικά μεταλλικά στοιχεία (*Σταμάτης* 2009b).

Το υπόλοιπο μέρος της παρουσίας των ιχνοστοιχείων στο έδαφος είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Παραδείγματα ανθρωπογενούς επιβάρυνσης αποτελούν οι γεωργικές πρακτικές (χρήσεις ανόργανων λιπασμάτων, εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων κλπ), τα υγρά και στερεά απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων, οι ανεπαρκείς μέθοδοι ανακύκλωσης ή διαχείρισης υδάτων και αστικών λυμάτων, τα απόβλητα μεταλλευτικών ή λατομικών βιομηχανιών, τα υγρά και στερεά απόβλητα χημικών βιομηχανιών, οι αερομεταφερόμενοι ρύποι, κλπ.

Η επιβάρυνση του εδάφους μπορεί να διακριθεί σε *σημειακή* και *μη σημειακή* (*Kabata Pendias and Pendias* 2001, *Rawlins et al.* 2005, *Marchant et al.,* 2011). Οι σημειακές πηγές ρύπανσης συνδέονται συνήθως με την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων, με μεταλλευτικές δραστηριότητες, με βιομηχανικές εγκαταστάσεις και εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, με χώρους ταφής και διαχείρισης απορριμμάτων κλπ (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001, *Fernández-Turiel et al.* 2001, *Rawlins et al.* 2005, *Marchant et al.,* 2011). Η μη σημειακή ρύπανση είναι συνδεμένη με την καθίζηση επιβλαβών ουσιών που περιέχονται στα αερολύματα εξαιτίας εκπομπών από τη βιομηχανία και την κυκλοφορία οχημάτων στις αστικές περιοχές, με τη μη ορθή διαχείριση και ανακύκλωση στερεών και υγρών λυμάτων, με διάφορες μεθόδους αγροκαλλιέργειας κλπ. (*Martin et al*. 1998, *Li et al.* 2001, *Xu et al.* 2002, *Nicholson et al.* 2003, *Marchant et al.* 2011, *Del Rio-Salas* 2012).

Η βιοδιαθεσιμότητα και η βιοπροσπελασιμότητα κάθε ιχνοστοιχείου που δεσμεύεται στο έδαφος εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τις ιδιότητες του εδάφους, το μέγεθος των σωματιδίων, το ιχνοστοιχείο και τον τρόπο με τον οποίο αυτό έχει εισέλθει στο έδαφος (*Palumbo-Roe et al.* 2005, *Selinus* 2005, *Wragg et al.* 2007, *Smith et al.* 2008). Γενικά όμως μπορεί να ειπωθεί (*Adriano* 1986, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001), ότι τα ιχνοστοιχεία που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι κατά πολύ περισσότερο βιοδιαθέσιμα και πιο κινητικά από αυτά που προέρχονται από τα μητρικά πετρώματα ή τις διαδικασίες πεδογένεσης (*Παπαστέργιος* 2008).

2.2.4 Τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη

Η ρύπανση των εδαφών από μεταλλικά ιχνοστοιχεία είναι ένα από πιο σημαντικά αντικείμενα των περιβαλλοντικών επιστημών τα τελευταία χρόνια (*Georgakopoulos et al.* 1992, *Kabata-Pendias and Pendias* 1992, *Alloway* 1995, *Kelly et al.* 1996, *Chen et al.* 1997, *Galego et al.* 2002, *Duker et al.* 2005, *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Η πλειοψηφία τους με προέλευση μη γεωγενή, παραμένει σε αδιάλυτη μορφή στο πάνω τμήμα των εδαφών υπό μορφή χημικών ενώσεων και δεν βιοδιασπάται, μη αφήνοντας έτσι τα στοιχεία να εκπλυθούν προς τα υπόγεια νερά (*Adriano* 1986, *Alloway* 1995, *Hesteberg* 1998, *Kalbitz and Wenrich* 1998, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Πηγές των βαρέων μετάλλων στο έδαφος αποτελούν ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως τα μεταλλεία, τα βιομηχανικά απόβλητα, η καύση ορυκτών καυσίμων, η βιομηχανική επεξεργασία μεταλλουργικών προϊόντων, τα απορρίμματα, τα αστικά λύματα και οι γεωργικές δραστηριότητες με τη χρήση λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων (*Adriano* 1986, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001, *Li et al.* 2001, *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007) (Πίνακας 2.2.).

Τα βαρέα ιχνοστοιχεία στο έδαφος απαντούν στις εξής μορφές: α) ελεύθερα στο εδαφικό διάλυμα, β) ανταλλάξιμα και προσροφημένα στην επιφάνεια των εδαφικών κολλοειδών, γ) συνδεδεμένα με ανθρακικά άλατα, δ) συνδεδεμένα με την οργανική ουσία, ε) συνδεδεμένα με οξείδια Fe-Mn και στ) ενωμένα με το πυρίτιο στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών. Η δραστηριότητα τους θεωρείται ότι είναι σε εξάρτηση με την ισορροπία ανάμεσα στο ποσοστό αργίλου, την οργανική ουσία, τα υδροξείδια Fe και Al, ενώ το pH επηρεάζει ισχυρά την ισορροπία αυτή (*Lindsay* 2001).

Τα βαρέα μέταλλα δεν αποικοδομούνται αλλά αντίθετα βιοσυσσωρεύονται και βιομεγεθύνονται, καθιστώντας το έδαφος δεξαμενή βιοδιαθέσιμων ιχνοστοιχείων, με όλες τις αρνητικές συνέπειες για την τροφική αλυσίδα *(De Miguel et al.* 1997, *Hesterberg* 1998, *Mielke et al.* 1999, *Madrid et al.* 2002). Κάποια από αυτά είναι συστατικά πολλών ενζύμων, λειτουργούν σαν καταλύτες και αποτελούν απαραίτητα ιχνοστοιχεία για τη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Η έλλειψή τους μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως αναιμία, ανωμαλίες στην εγκεφαλική λειτουργία, δυσλειτουργίες στον μεταβολισμό, οστεοπόρωση

και κατάθλιψη, ενώ σε μεγάλες περιεκτικότητες προκαλούν σημαντικές και μη αντιστρεπτές πολλές φορές βλάβες, ακόμη και τον θάνατο (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Πίνακας 2.2. Ρύπανση των εδαφών σε βαρέα μέταλλα (ppm) από πηγές γεωργικής προέλευσης (*Kabata-Pendias and Pendias* 1992).

Στοιχείο	Απόβλητα	Αζωτούχα λιπάσματα	Φωσφορικά λιπάσματα	Ασβέστης	Κοπριά	Φυτοφάρμακα
Br	20-165	185-716	3-5	-	16-41	20-85
Cd	2-1.500	0,05-8,5	0,1-170	0,04-0,1	0,3-0,8	-
Co	2-160	5,4-12	1-12	0,4-3	0,3-24	-
Cr	20-40.600	3,2-19	66-245	10-15	5,2-55	-
Cu	50-3.300	<1-15	1-300	2-125	2-60	12-50
F	2-740	-	8.500-38.000	300	7	18-45
Mn	60-3.900	-	40-2.000	40-1.200	30-550	-
Ni	16-5.300	7-34	7-38	10-20	7,8-30	-
Pb	50-3.000	2-27	7-225	20-1.250	6,6-15	60
Sr	40-360	-	25-500	610	80	-

2.2.5 Νομοθεσία περί προστασίας των εδαφικών πόρων

Η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων καθιέρωσε σαν στόχο, με το 6° πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον που δημοσίευσε το έτος 2001, την προστασία των εδαφών από τη διάβρωση και τη ρύπανση, ενώ στη στρατηγική για την αειφόρο ανάπτυξη, που επίσης δημοσιεύθηκε το ίδιο έτος, επισημαίνει ότι η απώλεια εδαφών και η μείωση της γονιμότητάς τους υπονομεύουν τη βιωσιμότητα των γεωργικών γαιών (*E.E.K*. 2002).

Μετέπειτα το 2006, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στη θεματική στρατηγική της για την προστασία του εδάφους, προτείνει κοινό πλαίσιο για τη διαφύλαξη των λειτουργιών του εδάφους να επιτελεί τις οικολογικές, οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές λειτουργίες του, την πρόληψη της υποβάθμισής του, καθώς και την αποκατάσταση εκτάσεων που έχουν ήδη υποβαθμιστεί. Η πρόταση της οδηγίας προβλέπει επιπλέον ότι τα κράτη μέλη θα λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα για την αποφυγή της ρύπανσης των εδαφών από επικίνδυνες ουσίες και θα μεριμνήσουν για την ενσωμάτωση της προστασίας του εδάφους στις εθνικές και κοινοτικές πολιτικές.

Παράλληλα οφείλουν να συντάξουν μητρώο των περιοχών που έχουν υποστεί μόλυνση από ανάλογες ουσίες, καθώς και των τοποθεσιών στις οποίες κατά το παρελθόν αναπτύχθηκαν ορισμένες δραστηριότητες που διέπονται από τις διατάξεις της οδηγίας. Σαν τέτοιες θεωρούνται οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, τα αεροδρόμια, τα λιμάνια κλπ. (*http://europa.eu/legislation_summaries/environment/soil_protection/l28181_el.htm*).

Οι κυβερνήσεις στην ΕΕ έχουν διαφορετική εθνική πολιτική η καθεμία για την προστασία και την αντιμετώπιση της ρύπανσης του εδάφους. Στην Ελλάδα μια πρώτη προσπάθεια έγινε με τον νόμο 1650/1986 για την προστασία του Περιβάλλοντος, όπου επιδιώκεται η προστασία του εδάφους, ενώ δεν έχει καθοριστεί ακόμη σαφής εθνική πολιτική για την προστασία των εδαφών από διάφορες πηγές ρύπανσης. Υιοθετούνται έτσι (*Παπαστέργιος* 2008), όπως και σε άλλες χώρες που δεν υπάρχει αντίστοιχη πολιτική, οδηγίες από χώρες όπου αυτή υπάρχει (π.χ. The New Dutchlist) (Πίνακας 2.3), ενώ επιπλέον πρωτοβουλίες για την έρευνα που αφορούν τη ρύπανση των εδαφών λαμβάνονται από διάφορους ερευνητές ή από εθνικά ερευνητικά κέντρα όπως *I.G.M.E.* (2001).

Η Ολλανδία αποτελεί την πρώτη χώρα στην Ευρώπη που από το 1976 έχει ενσωματώσει την προστασία του εδάφους στην εθνική περιβαλλοντική πολιτική της, ενώ το 1994 άρχισε να αναθεωρεί τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδαφών. Στον πίνακα 2.3 που ακολουθεί

δίνεται για τα βαρέα μέταλλα στο έδαφος – που αποτελούν αντικείμενο της παρούσας διατριβής – η νέα τιμή που θεσπίσθηκε την περίοδο 1994-2000 (The New Dutchlist) και η παλαιά τιμή που ίσχυε μέχρι το 1994. Η υπέρβαση των τιμών αυτών (intervention values – τιμές επέμβασης) αποτελεί ένδειξη ρύπανσης του εδάφους (*http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/dutch-l.htm#KEYWORD-ONE*).

Πίνακας 2.3. Μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδάφους από βαρέα μέταλλα στην Ολλανδία.

Μέταλλα	**Συγκέντρωση στο έδαφος (mg kg^{-1} ξηρού εδάφους)**	
	Νέα	**Παλιά**
Cr	380	800
Co	240	300
Ni	210	500
Cu	190	500
Zn	720	3.000
As	55	50
Mo	200	200
Cd	12	20
Ba	625	2.000
Hg	10	10
Pb	530	600

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 Οριοθέτηση-Γεωγραφικά στοιχεία

Περιοχή έρευνας της παρούσας διατριβής αποτελεί η λεκάνη Δομοκού ή αλλιώς λεκάνη του οροπεδίου Δομοκού, η οποία βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα και ανήκει εξ ολοκλήρου στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (08). Για τον καθορισμό και την οριοθέτηση της, καθώς και την εξαγωγή περιγραφικής πληροφορίας, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες με τη βοήθεια του λογισμικού ΓΠΣ ArcGIS 9.3 και τη χρήση: 1) των φύλλων των τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακας 1:50.000 (Πίνακας 3.1, Σχήμα 3.1) και 2) της βάσης δεδομένων (*http://geodata.gov.gr/geodata*). Η βάση δεδομένων geodata.gov.gr, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με σκοπό να αποτελέσει ένα κεντρικό σημείο συλλογής, αναζήτησης, διάθεσης και απεικόνισης της ανοικτής δημόσιας γεωχωρικής πληροφορίας.

Οι θεματικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν είναι: α) ο χάρτης ορίων και των υδρολογικών λεκανών της περιοχής έρευνας, β) ο χάρτης των υδατικών διαμερισμάτων στην ελληνική επικράτεια, γ) ο χάρτης των περιβαλλοντικά προστατευόμενων περιοχών, δ) ο χάρτης των δήμων και των νομών, ε) ο χάρτης τοπικών κοινοτήτων, στ) ο χάρτης των οικισμών, ζ) ο χάρτης χρήσεων/κάλυψης γης (Corine 2000) και η) ο χάρτης οδικού δικτύου.

Πίνακας 3.1 Φύλλα Τοπογραφικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΓΥΣ).

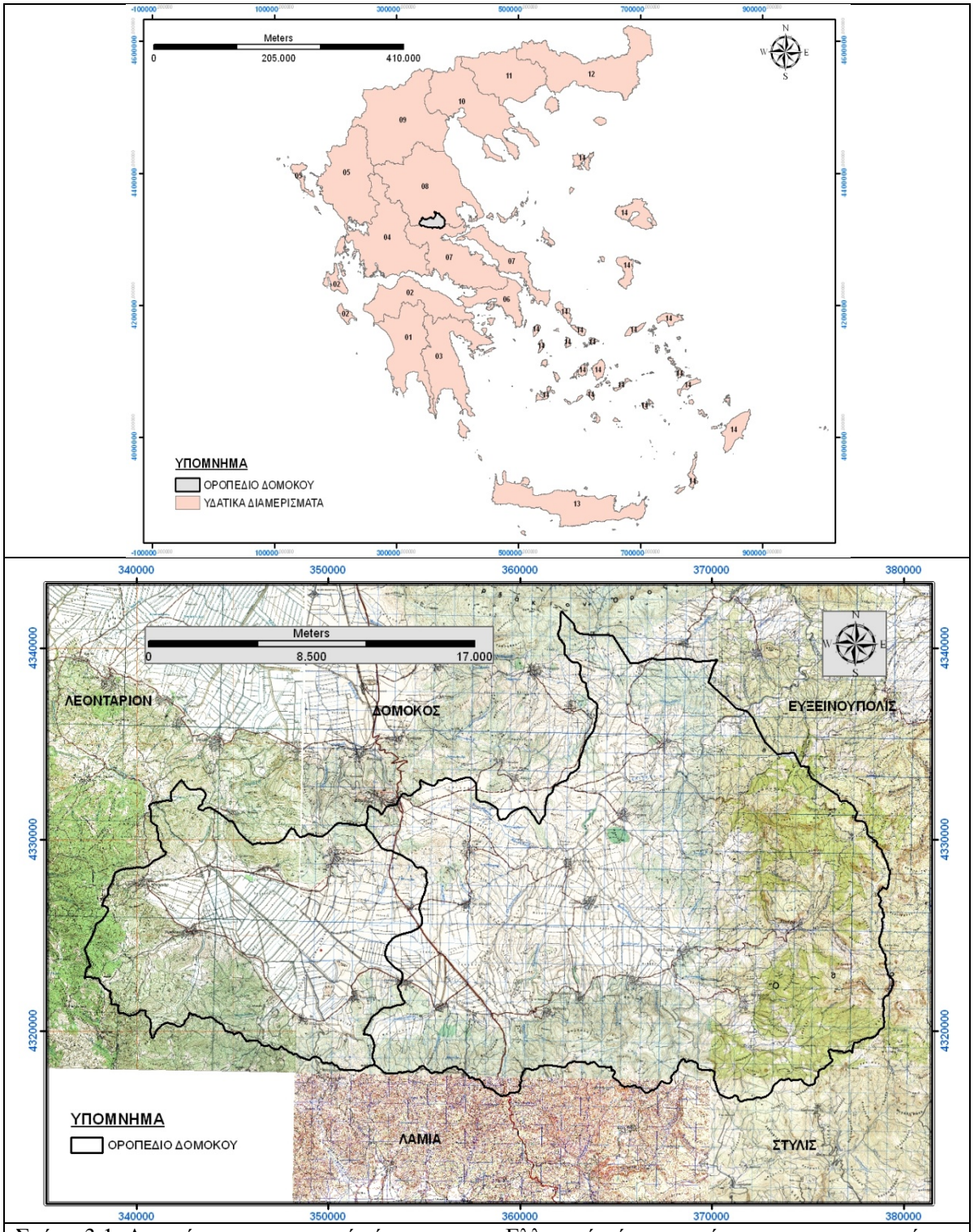
No	Φύλλο	Έκδοση ΓΥΣ
1	Στυλίς	1990
2	Λαμία	1988
3	Ευξεινούπολης	1987
4	Δομοκός	1987
5	Λεοντάριον	1971

Η λεκάνη του οροπεδίου Δομοκού γεωγραφικά στο μεγαλύτερο μέρος της ανήκει στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα και στο νομό Φθιώτιδας, ενώ ένα μικρότερο κομμάτι της εντάσσεται στη Θεσσαλία και στους νομούς Μαγνησίας και Λάρισας. Βρίσκεται μεταξύ των συντεταγμένων Xmin:362.126 m, Xmax:371.500 m στον άξονα Δ-Α και Ymin:4.316.293 m, Yax:4.341.943 m στον άξονα Ν-Β (συντεταγμένες του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς-ΕΓΣΑ ’87). Βρίσκεται στο όρος Όθρυς (1.700 m), μια παραφυάδα της Πίνδου, που χωρίζει τη θεσσαλική πεδιάδα από το Μαλιακό κόλπο και την κοιλάδα του Σπερχειού. Στη δυτική και ανατολική προέκτασή της η Όθρυς φτάνει από τον Παγασητικό κόλπο μέχρι τα βουνά των Αγράφων. Η απόληξη της νότιας πλευράς της προς την κοιλάδα του Σπερχειού είναι σχετικά απότομη και ευκρινής και η πλευρά προς τη Θεσσαλία εμφανίζει μια σχετικά ανώμαλη διαμόρφωση. Το βουνό χαμηλώνει σχηματίζοντας δύο λεκάνες, τη λεκάνη της Ξυνιάδας και τη λεκάνη Σκοπιάς ή άνω ρου του Ενιππέα ποταμού (Σχήμα 3.1).

Η λεκάνη Ξυνιάδας

Η λεκάνη της Ξυνιάδας βρίσκεται στον ευρύτερο ορεινό όγκο της Όθρυος και συγκροτεί μία ενότητα, χάρη στον περίγυρο που σχηματίζουν τα βουνά, με μόνο άνοιγμα στα ανατολικά τη χαμηλή αλυσίδα λόφων (534 m), σύνορο με τη λεκάνη Σκοπιάς. Βόρεια της λεκάνης στην προέκταση του Δομοκού, υψώνεται το Ξεροβούνι (υψόμετρο 977 m), το οποίο προς βορρά πέφτει απότομα στην πεδιάδα. Τα όρια της λεκάνης διέρχονται από τις κορυφογραμμές: Ξεροβούνι, Ψηλόρραχη, Γόλιανες, Μεταλλείον, Μέγα Ίσωμα, Ίσωμα, Ψηλό Κοτρόνι, Κοκκαλίτσα, Πλατειά Ράχη, Προφήτης Ηλίας. Η λεκάνη καλυπτόταν, μέχρι το 1946 στο μεγαλύτερο μέρος της από μια μεγάλη αβαθή ορεινή λίμνη που στην αρχαιότητα ονομαζόταν-από την παρακείμενη πόλη Ξυνίαι-λίμνη Ξυνιάς.

Το μέσο υψόμετρο της λίμνης ήταν περίπου 454 m και η έκταση που κάλυπταν τα νερά



Σχήμα 3.1. Απεικόνιση της περιοχής έρευνας στον Ελληνικό χώρο και μέσω των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000.

της το χειμώνα, όταν η στάθμη τους έφτανε στο ανώτατο ύψος, ήταν περίπου 31.000 στρέμματα και 5.000 περίπου από αυτά ήταν βάλτος. Τα νερά της λίμνης ήταν στο μέγιστο ποσοστό τους βρόχινα και προέρχονταν από την ευρύτερη λεκάνη απορροής. Τα νερά που περίσσευαν από τη λίμνη έφευγαν από το βορειοδυτικό άκρο της, μέσω του χειμάρρου Μπαμπαλή (Πενταμύλη) προς το Σοφιαδίτικο ποτάμι και από εκεί προς τον Πηνειό. Η αποξήρανσή της άρχισε το 1936 και ολοκληρώθηκε το 1946 μετά τον πόλεμο με την κατασκευή ενός καναλιού που παροχετεύει τα νερά της στο Σοφιαδίτικο. Η γεωργική

εκμετάλλευση των εδαφών που αποκαλύφθηκαν άρχισε το 1953 και τα στραγγιστικά έργα τελείωσαν το 1972 (*Σούλιος* 1975, *ΕΚΒΥ* 2008, http://www.greekscapes.gr).

Η λεκάνη Σκοπιάς ή άνω ρου του Ενιππέα ποταμού

Η λεκάνη Σκοπιάς συγκροτεί παρόμοια ενότητα με αυτή της Ξυνιάδας, περιβάλλεται από βουνά στις τρεις πλευρές της και έχει κοινή την τέταρτη πλευρά με τη λεκάνη της Ξυνιάδας. Στη λεκάνη της Σκοπιάς οι έντονα διακλαδισμένοι χείμαρροι των γύρω βουνών συγκεντρώνονται βορειοανατολικά στο πιο βαθύ τμήμα της πεδιάδας και σε αντίθεση με τη λεκάνη της Ξυνιάδας βρίσκουν πέρασμα ανάμεσα στα βουνά.

Το ποτάμι που σχηματίζουν, ο Ενιππέας, αφού αποστραγγίσει στη διαδρομή του τα νερά των χειμάρρων της λεκάνης Σκοπιάς, διατρέχει μέσα από τον Κασιδιάρη (1.011 m) τη νοτιοδυτική πεδιάδα της Θεσσαλίας και εκβάλλει στον Πηνειό, αποτελώντας το σπουδαιότερο ανατολικά παραπόταμο του (http://www.greekscapes.gr).

3.2 Φυσικό περιβάλλον

3.2.1 Χλωρίδα και πανίδα

Η περιοχή έρευνας ανήκει στην παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης, η οποία αποτελεί μεταβατική ζώνη βλάστησης από τη θερμόβια μεσογειακή προς την υποηπειρωτική βλάστηση των δρυοδασών (*ΕΚΒΥ* 2008). Στη φυσική βλάστηση κυριαρχούν οι δρύες, είτε με τη μορφή αείφυλλων και σκληρόφυλλων πουρναριών, είτε με τη μορφή δένδρων. Τα κύρια είδη δένδρων και θάμνων που συνοδεύουν τους δρύες είναι: η αγκορτσιά, η κοκκορετσιά, το παλιούρι, η λυγαριά, τα βάτα, οι κληματίδες, κ.α.

Στις ρεματιές απαντώνται ιτιές και πλατάνια, ενώ όσο ανεβαίνουμε προς την ορεινή ζώνη η σχέση μεταξύ των δυο μορφών δρυός μεταβάλλεται προς όφελος των "δέντρων" και των φυτών που την ακολουθούν όπως η κρανιά, ο γαύρος και ο κέδρος. Οι δρύες είναι αυτοί που συνθέτουν τα πιο χαρακτηριστικά τοπία της περιοχής. Έτσι, έχουμε πυκνούς, σχεδόν αδιαπέραστους, αγκαθωτούς λόγγους χαμηλού ύψους από πουρνάρια στην καλλιεργούμενη ζώνη του οροπεδίου και κυρίως στην ακαλλιέργητη ζώνη πάνω από τους οικισμούς. Υπάρχουν επιπλέον δάση από "δέντρα" στην ορεινή ζώνη, στις χαραδρώσεις του υδρογραφικού δικτύου και πολλά απομονωμένα διάσπαρτα στην καλλιεργούμενη ζώνη, ενώ απαντάται και παρόχθια βλάστηση με πλατάνια στα ρέματα (http://www.greekscapes.gr).

Στη λεκάνη της Σκοπιάς στα μεγαλύτερα υψόμετρα, εκτείνονται δάση δρυός, θάμνοι και μακκία βλάστηση που συνίσταται από πρινώνες με κυρίαρχα είδη το πουρνάρι (*Quercus coccifera*) και τον Κέδρο (*Juniperus oxycedrus*). Τα ρέματα είναι γεμάτα από πλατάνια (*Platanus orientalis*), ενώ κοντά τους συναντώνται και σφένδαμοι (*Acer*). Στα βοσκοτόπια υπάρχει μεγάλος αριθμός δένδρων αγριοκορομηλιάς (*Prunus cocomibia*), των οποίων οι καρποί αποτελούν τροφή για τα ποιμενικά και τα άγρια ζώα του δάσους. Επιπλέον, μάζες των ώριμων αειθαλών δέντρων δρυός (*Quercus ilex και Quercus coccifera*) υπάρχουν σε τοπικό επίπεδο, ενώ υπάρχει μια μοναδική εκτεταμένη έκταση με πουρνάρια (*Ilex aquifolium*) στα πιο υψηλά μέρη του οροπεδίου, στο ανατολικό τμήμα του. Πρόκειται για μια σημαντική περιοχή για αρπακτικά πουλιά αναπαραγωγής και είδη πλατύφυλλων φυλλοβόλων δασών (http://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR1430006/).

Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης Ξυνιάδας καταλαμβάνεται από την υποζώνη οστρυάς-γαύρου και ειδικότερα ανήκει στον αυξητικό χώρο Coccifero-Carpinetum, όπου κυριαρχεί ο πρίνος (*Quercus coccifrea*). Η σημερινή όψη της βλάστησης είναι κυρίως αποτέλεσμα της μακροχρόνιας επίδρασης του ανθρώπου. Σε θέσεις όπου η επίδραση του ανθρώπου είναι ηπιότερη ή έχει υποχωρήσει απαντούν η χνοώδης ή η πλατύφυλλη δρυς (*Quercus pubescens* ή *Q. frainetto* αντίστοιχα) και ο γαύρος (*Carpinus orientalis*). Στο δυτικό τμήμα της περιοχής απαντά η υποζώνη των ξηρόφιλων φυλλοβόλων δρυών, όπου στα φυσικά δάση κυριαρχεί ο πλατύφυλλος δρυς. Στις ρεματιές γύρω από την λεκάνη της τέως λίμνης Ξυνιάδας εμφανίζονται ιτιές, τυπικός εκπρόσωπος αζωνικής βλάστησης. Εντός της λεκάνης, η βλάστηση είναι τυπική των διαταραγμένων γεωργικών εδαφών. Στοιχεία φυσικής

βλάστησης (κυρίως καλαμώνες και υψηλά ελόφυτα) απαντούν κατά μήκος των αποστραγγιστικών τάφρων, ιδιαίτερα σε σημεία όπου διατηρείται νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η βλάστηση αυτή είναι έντονα διαταραγμένη από τις γεωργικές δραστηριότητες καθώς και από τεχνικά έργα που εκτελούνται στις όχθες (*EKBY* 2008).

Η πανίδα στο οροπέδιο Δομοκού είναι πλούσια με πλήθος ειδών, εξαιτίας των καταφυγίων άγριας ζωής. Από τα άγρια θηλαστικά τα σημαντικότερα είναι: λαγός, σκίουρος, ασβός, τυφλοπόντικας, αλεπού, αγριογούρουνο και λύκος. Τόσο ο λαγός (*Lepus europeaus)* όσο και ο σκίουρος (*Sciurus vulgaris)* απαντώνται στη ζώνη των αείφυλλων πλατύφυλλων (μακκία βλάστηση) σε όλα τα υψόμετρα. Ο ασβός (*Meles meles)* απαντάται στα χαμηλά υψόμετρα με πυκνή χαμηλή βλάστηση και σε αραιά δρυοδάση που εφάπτονται γεωργικών καλλιεργειών. Οι τυφλοπόντικες (*Talpa europaea)* και τα τρωκτικά τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση του αριθμού τους στις πεδινές εκτάσεις, ιδίως στην περιοχή της αποξηραμένης λίμνης Ξυνιάδας. Η αλεπού (*Vulpes vulpes)* απαντάται στην περιοχή έρευνας όλη τη διάρκεια του έτους, στα αραιά δρυοδάση αλλά και στις πεδινές γεωργικές καλλιέργειες. Ο αριθμός τους αναφέρεται (Δασαρχεία Λαμίας και Καρδίτσας) ότι έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα μετά την απαγόρευση κυνηγιού του είδους. Τα αγριογούρουνα (*Sus scrofa*) απαντώνται στις εκτάσεις των πλατύφυλλων και κυρίως των δρυοδασών.

Ο λύκος *Canis lupus* απαντάται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας τόσο στο ορεινό όσο και στο πεδινό κομμάτι της. Σε επίπεδο χώρας, προσέγγιση των πληθυσμών του λύκου έχει γίνει και από τον Αρκτούρο και το πρόγραμμα Life. Στο πρόγραμμα αυτό αναφέρεται η παρουσία λύκων στην ορεινή έκταση Λουτροπηγής – Ρεντίνας του Νομού Καρδίτσας και στην ημιορεινή ζώνη μεταξύ Λαμίας, Δομοκού και Ρεντίνας του Νομού Φθιώτιδας. Η παρουσία του λύκου στην περιοχή Αγ. Στεφάνου επιβεβαιώνεται και από άλλες πηγές (Δασαρχείο Λαμίας), γεγονός που σχετίζεται με το καταφύγιο άγριας ζωής Μπουγαζίου, όπου υπάρχουν αρκετά είδη τα οποία μπορούν να εξασφαλίσουν τροφή για το λύκο. Η παρουσία του είδους προκύπτει και από στοιχεία του ΕΛΓΑ, ο οποίος αποζημιώνει τους κτηνοτρόφους για την απώλεια ζωικού κεφαλαίου από επιθέσεις λύκων, από αναφορές των Δασαρχείων, αλλά και από μαρτυρίες κατοίκων. Στην υπόλοιπη ευρύτερη περιοχή αναφέρεται η παρουσία μικρού αριθμού λύκων, η κατανομή του οποίου αφορά το όρος Όθρυς (*Παρασκευόπουλος* κ.ά. 2005, *http://www.arcturos.gr*).

Από τα είδη της ορνιθοπανίδας που απαντώνται στο οροπέδιο Δομοκού, τα πιο σημαντικά είναι: Μαυροπελαργός (*Ciconia nigra*), Όρνιο (*Gyps fulvus*), Φιδαητός (*Circaetus gallicus*), Χρυσαητός (*Aquila chrysaetos*), Σπιζαητός (*Hieraaetus fasciatus*), Χρυσογέρακο (*Falco biarmicus*), Πετρίτης (*Falco peregrinus*), Μεσοτσικλητάρα (*Dendrocopus medius*), Τρυγόνι (*Streptopelia turtur*), Σπίνος (*Fringilla coelebs*), Φλώρος *Carduelis chloris),* Καρδερίνα (*Carduelis carduelis*). Τα δάσοι δρυός του οροπεδίου είναι σημαντικά για τη διατροφή του κιρκινεζιού (*Falco naumanni*) μετά την αναπαραγωγική περίοδο. Η ευρέως διαδεδομένη παράνομη χρήση δηλητηριασμένων δολωμάτων για τον έλεγχο των πληθυσμών των carnivorus θηλαστικών (λύκοι, κλπ) έχει πιθανώς οδηγήσει στην εξαφάνισή τριών είδη γυπών που αναπαράγονταν στην περιοχή και εξακολουθεί να αποτελεί απειλή και για άλλα είδη όπως Χρυσαετοί κλπ (*http://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR1430006/*, *http://www.ornithologiki.gr/page_iba.php?aID=102*).

Από τα αμφίβια και ερπετά τα σημαντικότερα είναι: Μεσογειακή Χελώνα (*Testudo hermanni*), Κρασπεδωτή Χελώνα (*Testudo marginata*), Νεροβάτραχος (*Rana ridibunda*), Πράσινη Σαύρα (*Lacerta trilineata*), Δενρογαλιά (*Coluber gemonensis*), Νερόφιδο (*Natrix natrix*) και Οχιά (*Vipera ammodytes*). Από τα είδη της ιχθυοπανίδας απαντώνται η Καραβίδα (*Astacus astacus*), στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας και στο υδατόρευμα του Μπουγαζίου (*Koutrakis* et al. 2007) και τα ψάρια Ασπράδες, Πλατίτσες (*Rutilus rutilus*)

Μπριάνες (*Barbus strumicae*) και Κέφαλοι του γλυκού νερού (*Leuciscus cephalus*) στον Ενιππέα.

3.2.2 Προστατευόμενες περιοχές

Οι σημαντικότερες διατάξεις που απορρέουν από την Ευρωπαϊκή και Εθνική Νομοθεσία για τις προστατευόμενες περιοχές συνοψίζονται στην Οδηγία 92/43 ΕΟΚ για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων και της άγριας πανίδας και χλωρίδας, στην οδηγία 79/409 ΕΟΚ περί της διατηρήσεως των αγρίων πτηνών. Επιπλέον στο Ν.1739/1987 για την προστασία και διαχείριση των υδάτινων πόρων, στο Ν. 1650/1986 για την προστασία του περιβάλλοντος και στο Ν. 966/1971 για τη δημιουργία καταφυγίων θηραμάτων, αισθητικών δασών, εθνικών δρυμών και τις απαγορεύσεις κυνηγιού. Ακόμη στο Ν. 860/1976 περί χωροταξίας και περιβάλλοντος, στο Ν. 998/1979 και Ν.Δ. 86/1969 περί προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της χώρας και το Π.Δ. 67/1981 περί προστασίας της αυτοφυούς χλωρίδας και άγριας πανίδας κ.ά.

Οι κατηγορίες που ορίζονται σύμφωνα με την παραπάνω νομοθεσία είναι:

- Εθνικοί Δρυμοί
- Αισθητικά Δάση
- Διατηρητέα Μνημεία της Φύσης
- Καταφύγια Άγριας Ζωής
- Θαλάσσια Πάρκα
- Περιοχές Natura 2000 (Περιοχές Δικτύου Φύση 2000) (*Ψωμιάδης* 2010).

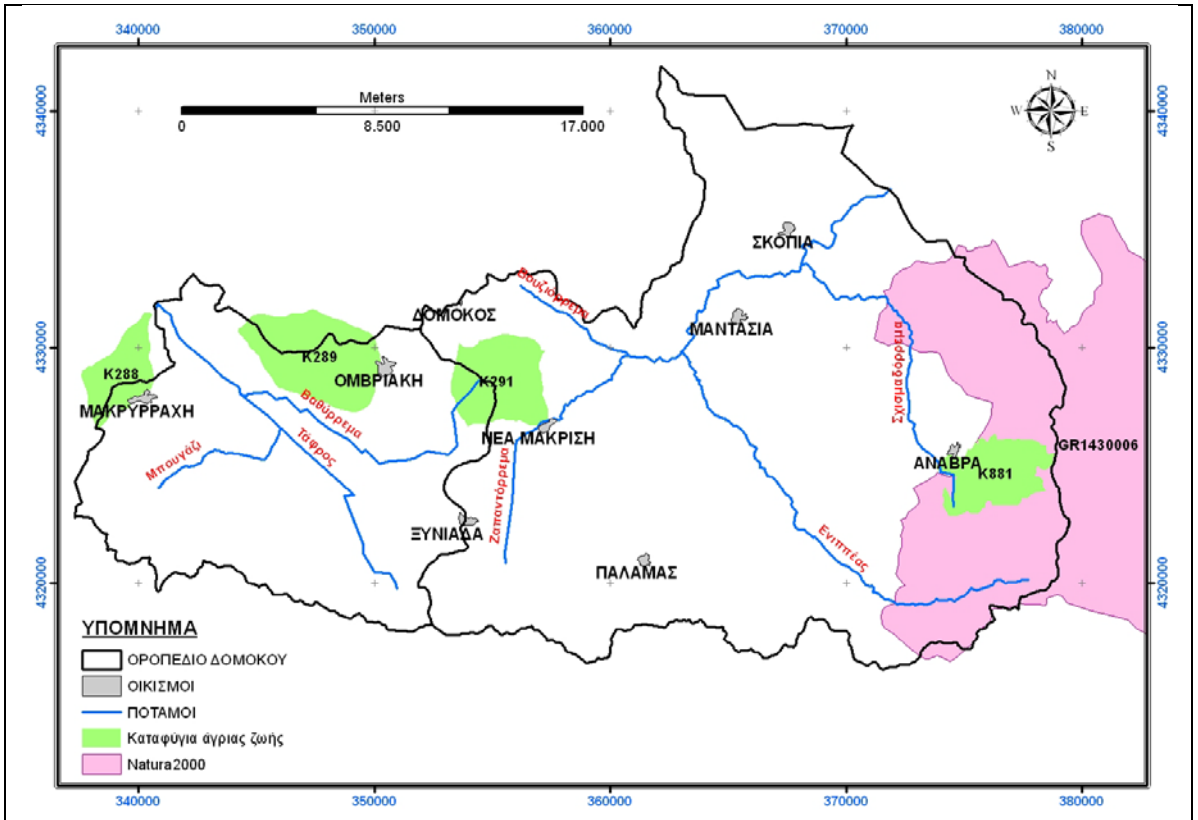
Το Δίκτυο Φύση 2000 ή Natura 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών σημαντικών σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι δραστηριότητες στις περιοχές του Δικτύου Natura 2000 ρυθμίζονται μέχρι σήμερα από την Εθνική Νομοθεσία. Η Οδηγία 79/409/ΕΚ εναρμονίστηκε στο ελληνικό Δίκαιο με τις Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις 414985/29-11-85 (ΦΕΚ 757/Β/18-12-85), 366599/16-12-96 (ΦΕΚ 1188/Β/31-12-96), 294283/23-12-97 (ΦΕΚ 68/Β/4-2-98). Η Οδηγία 92/43/ΕΚ εναρμονίστηκε στο ελληνικό Δίκαιο με την Κοινή Υπουργική Απόφαση 33318/3028/11-12-98 (ΦΕΚ 1289/Β/28-12-98) (*http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300_03.html*).

Πίνακας 3.2. Οι Περιβαλλοντικά προστατευόμενες περιοχές οροπεδίου Δομοκού.

Κατηγορία	Κωδικός	Ονομασία	Έκταση (ha)	ΦΕΚ
Καταφύγιο άγριας ζωής	K288	Παληοκαϊτσα-Θερμάκια (Μακρυρράχης)	785	1602/Β/81
Καταφύγιο άγριας ζωής	K289	Τσαμαδόραχη-Τρία δέντρα (Ομβριακής-Παναγίας-Δομοκού	1.750	834/Β/76
Καταφύγιο άγριας ζωής	K291	Γόλινες (Νέας Μάκρης-Λεύκας)	1.308	319/Β/84
Καταφύγιο άγριας ζωής	K881	Ανάβρας (Ανάβρας)	1.108	850/01
Natura2000	GR1430006	Όρος Όθρυς, Βουνά Γκούρας και Φαράγγι Παλαιοκερασιάς	31.079	-
Βιότοποι Corine	A00010046	Βουνά Γκούρας Μαγνησίας	9.996	-

Από τις κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών απαντώνται στο οροπέδιο, είτε εξ' ολοκλήρου είτε μερικώς, μία περιοχή που εντάσσεται στο δίκτυο Natura 2000 (περιοχές

Δικτύου Φύση 2000), ένας βιότοπος Corine εντός του δικτύου Natura και τέσσερα καταφύγια άγριας ζωής (Πίνακας 3.2, Σχήμα 3.2) (*http://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/A00010046*, *http://geodata.gov.gr/geodata*).



Σχήμα 3.2. Χάρτης Προστατευόμενων περιβαλλοντικά περιοχών του οροπεδίου Δομοκού.

3.3 Ιστορικό και πολιτιστικό περιβάλλον

Οι πρώτοι κάτοικοι της περιοχής ήταν οι Πελασγοί, γεγονός που διαπιστώνεται από την ύπαρξη Πελασγικών ή Κυκλώπειων τειχών, καθώς και από τα ονόματα των αρχαίων πόλεων. Η ύπαρξη φρουρίων και Πελασγικών τειχών στις πόλεις Θαυμακός, Πρόερνα, Εκκάρα, Μελιταία, Φυλιαδώνα, Πύρρα, Ελλάδος, Αγγειών, Ξυνιάς κ.λ.π. μαρτυρούν την ύπαρξη των Πελασγών ως πρώτων κατοίκων της περιοχής.

Αρκετά χρόνια αργότερα εισέβαλαν στην περιοχή και αναμείχθηκαν και άλλα φύλα. Οι Αιολείς και οι Δόλοπες κατέλαβαν τα ορεινά των Αγράφων και τμήμα της Δυτικής Όθρυος και αργότερα το πεδινό μέρος της Θεσσαλίας. Οι Αχαιοί κατέλαβαν τμήμα των Φαρσάλων, του Δομοκού και του Αλμυρού μέχρι τον Σπερχειό ποταμό. Αυτό το τμήμα ονομάσθηκε Βασίλειο των Μυρμιδόνων. Το δυτικό τμήμα της επαρχίας Δομοκού περιελάμβανε την Δολοπίαν με πρωτεύουσα το Θαυμακό, βασιλιάς της οποίας ήταν ο Θαύμακος και γιος του ο Ποίας. Το ανατολικό τμήμα περιελάμβανε τμήμα του Βασιλείου των Μυρμιδόνων με βασιλιά τον Πηλέα και τον γιό του Αχιλλέα (*Καρατζάς* 1962).

Από τις αρχαίες πόλεις οι σημαντικότερες ήταν η Ξυνιάς, η Ελλάς, η Φηλιαδώνα και η Μελιταία. Η Ξυνιάς ή Ξυνιαί ή Ξυνιάδα βρισκόταν νοτιοδυτικά του Δομοκού και δυτικά της Μελιταίας. Η Ξυνιά λεηλατήθηκε το 198 π.Χ. από τους Αιτωλούς και οι κάτοικοί της την εγκατέλειψαν για να την κατοικήσουν ξανά ένα χρόνο αργότερα μετά από νίκη των Ρωμαίων. Ήταν αρχαία πόλη κτισμένη πάνω σε βραχώδη νησίδα της λίμνης της Ξυνιάδας. Είχε δύο περίβολους με ύψος 3 και 6 μέτρα, ενώ το ψηλότερο μέρος της νησίδας κατείχε η ακρόπολή της, που φέρεται ως κτίσμα του 4^{ου} αι. π.Χ.. Αρχαιολογικά όμως ευρήματα της περιοχής, όπως μια χάλκινη σμίλη και μια αιχμή δόρατος, μυκηναϊκής εποχής, πτηνόμορφος

ασκός αλλά και ξίφος με μακριά λεπίδα κρητικής προέλευσης, αποδεικνύουν την κατοίκησή της αρκετά πιο πριν. Επιπλέον τεκμηριώνουν την εξάπλωση του μυκηναϊκού πολιτισμού και την άμεση σχέση του με την περιοχή (Σχήμα 3.4).

Ο οικισμός της Ομβριακής λέγεται ότι πήρε το όνομα του από τη λέξη «Όμβρος» που σημαίνει βροχή ή από τα όμβρια ύδατα της πρώην λίμνης Ξυνιάδας, η οποία ήταν πολύ κοντά στο χωριό. Σύμφωνα με την παράδοση, η Ομβριακή παλιότερα βρισκόταν σε μια τοποθεσία βόρεια της σημερινής σε απόσταση 2 χλμ., τη Τσέρνη, όπου σώζονται ακόμα ερείπια σπιτιών, εκκλησίας κλπ. Επικρατεί ακόμη η άποψη, χωρίς όμως να έχει αποδειχθεί, ότι το χωριό καταστράφηκε από θεομηνία και οι κάτοικοί του αναγκάστηκαν να κατεβούν πιο κάτω και να χτίσουν ένα νέο χωριό, τη σημερινή Ομβριακή (*http://www.xyniada.gr*).

Η Ελλάς κατά το Στράβωνα και το Θουκυδίδη βρίσκονταν 1.850 μέτρα βόρεια της Μελιταίας (Αβαρίτσας). Η Φιλιαδών (Χιλιαδού) βρισκόταν νότια του Δομοκού, συνόρευε με την Μελιταία και βρισκόταν 400 m δυτικά του κάστρου της Μόριας, που βρίσκεται όπως ένας μικρός πύργος σε ένα βράχο με απότομα τοιχώματα 20 m περίπου ύψος. Η ανεύρεση υδραγωγείου, πήλινων σωλήνων και ενός μαρμάρινου κίονα, φανερώνουν την ύπαρξη της αρχαίας Φηλιαδώνας και την ακμή αυτής (*Καρατζάς* 1962, *Μηλιώνης* 2006).

Η Μελιταία βρισκόταν νοτιανατολικά του Δομοκού και ερείπια αυτής σώζονται δίπλα στο σημερινό χωριό, όπου και έχουν βρεθεί ενεπίγραφες πλάκες και στήλες. Η Μελιταία λόγω της στρατηγικής της θέσης είχε αναδειχθεί σε κυρίαρχη πόλη στην περιοχή του οροπεδίου του Δομοκού και της δυτικής Αχαΐας Φθιώτιδος. Η πόλη ήταν ισχυρά οχυρωμένη και χωριζόταν με εσωτερικό τείχος σε άνω και κάτω πόλη και στο ανώτερο σημείο δέσποζε η ακρόπολη (Σχήμα 3.5). Ο Στράβων αναφέρει, ότι το παλαιότερο όνομα της πόλης ήταν Πύρρα και ότι στην αγορά της υπήρχε ο τάφος του Έλληνα, γιου του Δευκαλίωνα και της Πύρρας.

Η πόλη άκμασε από τον 5^{ο} αι. π.Χ. μέχρι και τη Ρωμαϊκή εποχή και φαίνεται να είχε υπό τον έλεγχο της τις γειτονικές πόλεις Πήρεια, Φιλιαδώνα, Καράνδες και Χαλαί. Το 217 π.Χ. ο Φίλιππος ο Ε', αν και βασίστηκε στο στοιχείο του αιφνιδιασμού ξεκινώντας μια ξαφνική επίθεση, δεν μπόρεσε τελικά να καταλάβει την πόλη. Ο λόγος ήταν το μεγάλο ύψος των τειχών της, ενώ το 86 π.Χ. έξω από τα τείχη της Μελιταίας συναντήθηκαν τα στρατεύματα των Ρωμαίων στρατηγών Σύλλα και Φλάκκου, χωρίς όμως να επέλθει σύγκρουση μεταξύ τους (*http://www.melitaia.gr*).



Σχήμα 3.3. Η αρχαία Ακρόπολη Ξυνιάδας.



Σχήμα 3.4. Η αρχαία Ακρόπολη Μελιταίας.

Στην περίοδο από το 1830 μέχρι το 1881 η κορυφογραμμή της Όθρυος αποτέλεσε το σύνορο ανάμεσα στην Ελλάδα και την Τουρκία και στα υψώματά της έβρισκαν κρησφύγετο

ληστές. Γύρω στα 1878, όταν η προσάρτηση της Θεσσαλίας στην Ελλάδα φαινόταν πιθανή και η αναχώρηση των Τούρκων είχε αρχίσει, ξεκινά μια περίοδος αναταραχών για την περιοχή που τελειώνει με την προσάρτησή της στην Ελλάδα το 1881 και την υπογραφή της συνθήκης του Βερολίνου. Η κατάληψη της οχυρής θέσης του Δομοκού το 1897 οδήγησε μετά από λίγο στο τέλος του ελληνοτουρκικού πολέμου. Αργότερα, και κατά την διάρκεια της αντίστασης και του εμφύλιου πολέμου η Όθρυς αποτέλεσε βάση και καταφύγιο ανταρτών («κλαρίτες») (*Καρατζάς* 1962, *Μπουρογιάννης* 2010, http://www.domokos.gr).

3.4 Ανθρωπογενές περιβάλλον

Το αστικό κέντρο που εξυπηρετεί διοικητικά ένα μεγάλο μέρος των οικισμών της λεκάνης είναι η κωμόπολη του Δομοκού, έδρα του ομώνυμου δήμου. Ο διευρυμένος Δήμος Δομοκού προέκυψε το 2011 με την εφαρμογή του Καλλικράτη και είναι το αποτέλεσμα της συνένωσης 3 δήμων (Δομοκού, Θεσσαλιώτιδος και Ξυνιάδος). Έτσι, η παλιά επαρχία Δομοκού με έδρα τον Δομοκό έγινε Δήμος Δομοκού με έδρα τον Δομοκό.

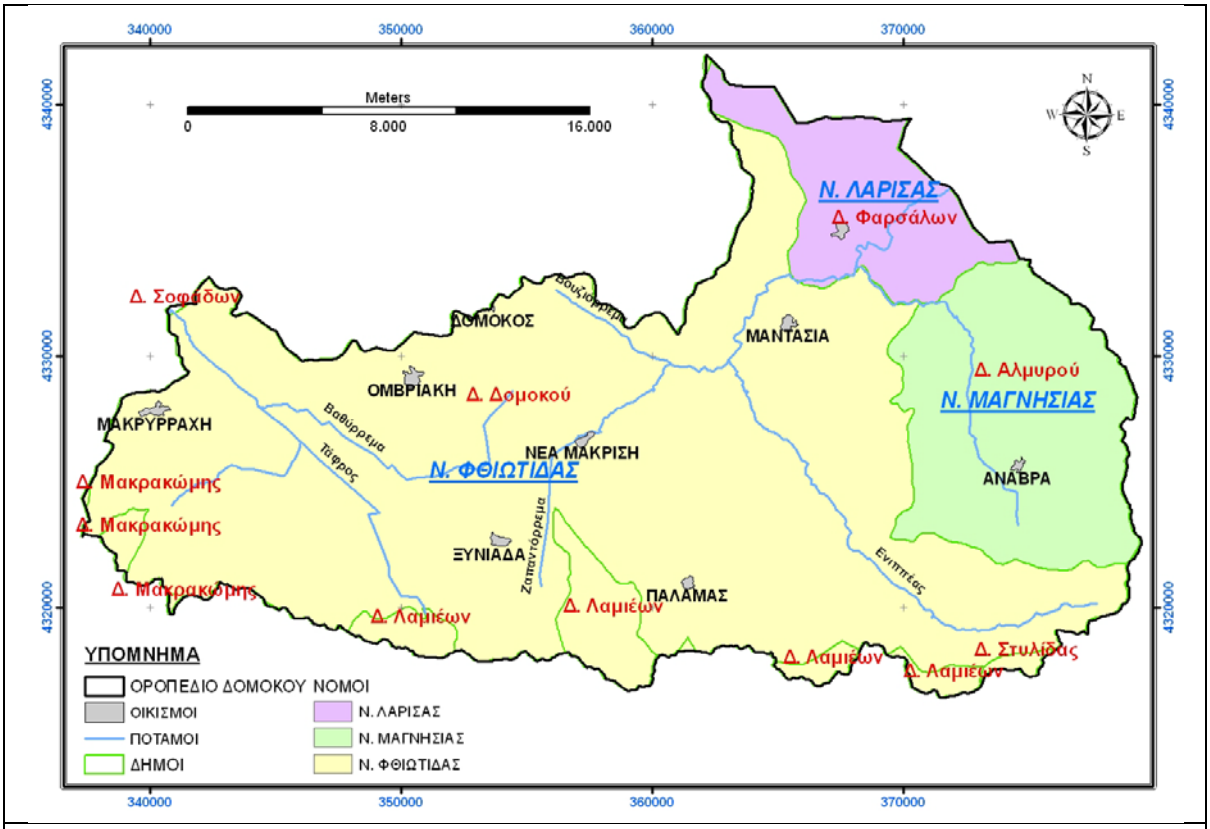
Ο δήμος Δομοκού, όπως είναι σήμερα, στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ου αιώνα είχε την ονομασία Επαρχία Δομοκού & Φαρσάλων και μέχρι το 1891 ανήκε διοικητικά στον νομό Λάρισας. Με το νόμο ΑΠΟΓ΄ της 1ης Μαρτίου 1891 (ΦΕΚ 122) η επαρχία Δομοκού διαιρέθηκε σε δυο, την επαρχία Δομοκού και την επαρχία Φαρσάλων και αποσπάσθηκε από τον νομό Λάρισας με το νόμο ΒΧΔ' της 6ης Ιουλίου 1899 (ΦΕΚ 136) και προσαρτήθηκε στο νομό Φθιώτιδας. Με τον νόμο ΓΥΛΔ' της 16ης Νοεμβρίου 1909 (ΦΕΚ 282/ Α'), «Περί διοικητικής διαιρέσεως τον Κράτους», καταργήθηκε η διοικητική διαίρεση του 1899. Η επαρχία Δομοκού αποσπάσθηκε από το νομό Φθιώτιδος και επανήλθε στο νομό Λάρισας. Το γεγονός δεν κράτησε πολύ μιας και ο νόμος ΓΩΜΔ' της 23ης Ιουλίου 1911 (ΦΕΚ 198) απέσπασε ξανά την επαρχία Δομοκού, την οποία και προσάρτησε στο νομό Φθιωτιδοφωκίδος μέχρι και την διαίρεση του νομού, ενώ τώρα πλέον ανήκει στον νομό Φθιώτιδας. Η επαρχία Δομοκού το 1911 διαιρούταν σε τρείς δήμους: α) Δήμο Θαυμακών-Δομοκός, β) Δήμο Ξυνιάδας–Ομβριακή, γ) Δήμο Μελιταίου–Αβαρίτσα (http://www.domokos.org).

Στο οροπέδιο Δομοκού βρίσκονται μερικώς 7 Δήμοι, από τους οποίους ο Δήμος Φαρσάλων και Αλμυρού ανήκουν στους νομούς Λάρισας και Μαγνησίας αντίστοιχα, ενώ οι υπόλοιποι στο νομό Φθιώτιδας οι οποίοι και περιλαμβάνουν, είτε εξ ολοκλήρου είτε μερικώς, 41 τοπικές κοινότητες (Σχήματα 3.5 και 3.6). Η έκταση και η περίμετρός που καταλαμβάνουν οι δήμοι εντός του οροπεδίου, όπως εμβαδομετρήθηκαν και υπολογίστηκαν από το ArcGis παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3. Ο δήμος Δομοκού, καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης με έκταση 434,2 km^2 και περίμετρο 161,57 km, ακολουθεί ο δήμος Αλμυρού με 92,89 km^2 και 42,5 km αντίστοιχα, ενώ την μικρότερη έκταση καταλαμβάνει ο δήμος Σοφάδων στο ΒΔ άκρο του οροπεδίου με έκταση 0,19 km^2 και περίμετρο 2,11 km.

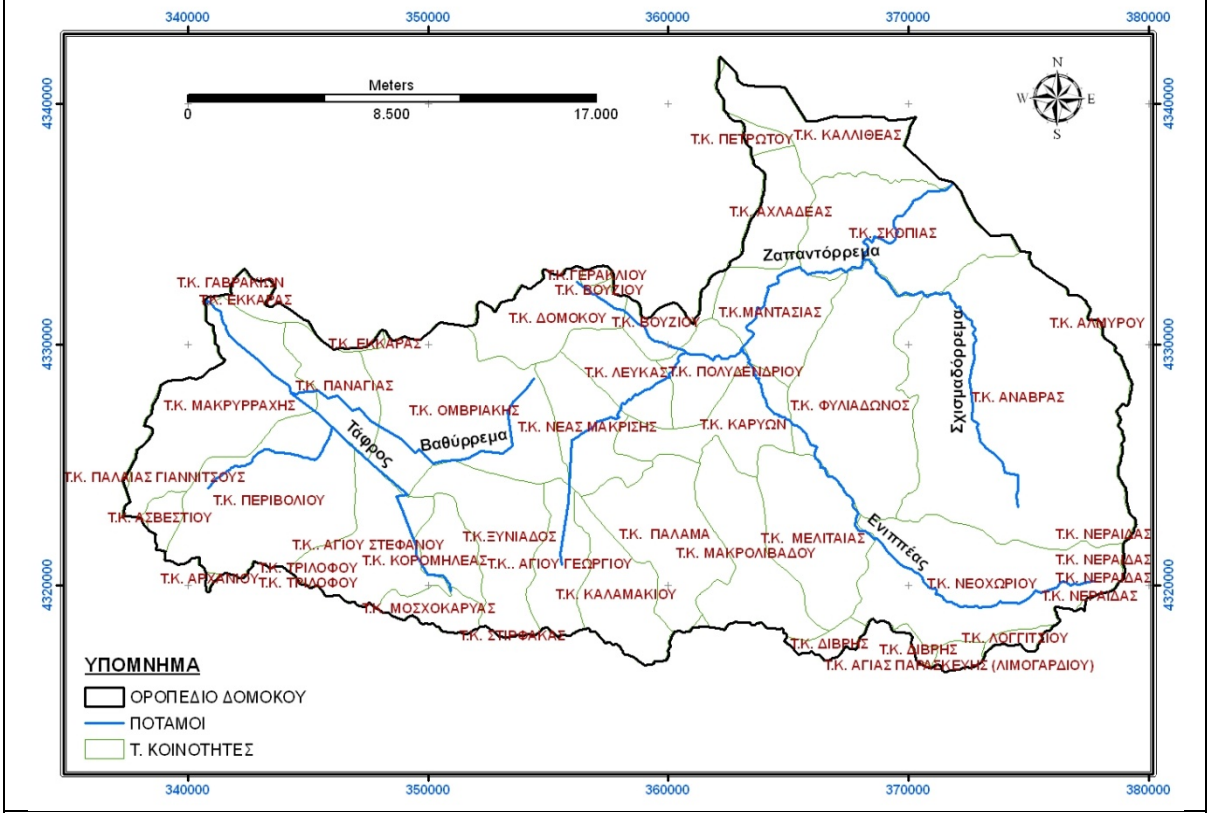
Οι οικισμοί που βρίσκονται εντός ή στα όρια της λεκάνης είναι 22 στο σύνολο τους και είναι: η Σκοπιά, η οποία ανήκει διοικητικά στο δήμο Φαρσάλων του Ν. Λάρισας, Δομοκός, Μαντασιά, Λεύκα, Πολυδένδρι, Καρυές, Νέα Μάκριση, Φυλιαδώνα, Μελιταία, Μακρολίβαδο, Παλαμά, Νεοχώρι, Άγιος Γεώργιος, Ξυνιάδα, Κορομηλιά, Άγιος Στέφανος, Περιβόλι, Μακρυράχη, Παναγιά και Ομβριακή του δήμου Δομοκού του Ν. Φθιώτιδας, το Καλαμάκι του δήμου Λαμιέων του Ν. Φθιώτιδας και η Ανάβρα του δήμου Αλμυρού του Ν. Μαγνησίας (Σχήμα 3.7).

3.5 Πληθυσμιακή εξέλιξη

Στη λεκάνη της έρευνάς μας κατοικούν ή έχουν άμεση οικονομική δραστηριότητα οι κάτοικοι 22 οικισμών. Ο συνολικός πραγματικός πληθυσμός τους κατά την απογραφή του1991 ήταν 10.815 κάτοικοι με μικρή πληθυσμιακή πυκνότητα 17,82 κάτοικοι/km^2 και κατά το 2001 ήταν 10.360 κάτοικοι με πληθυσμιακή πυκνότητα 17,07 κάτοικοι/km^2,



Σχήμα 3.5. Χάρτης των 7 Δήμων και των 3 νομών της περιοχής έρευνας.



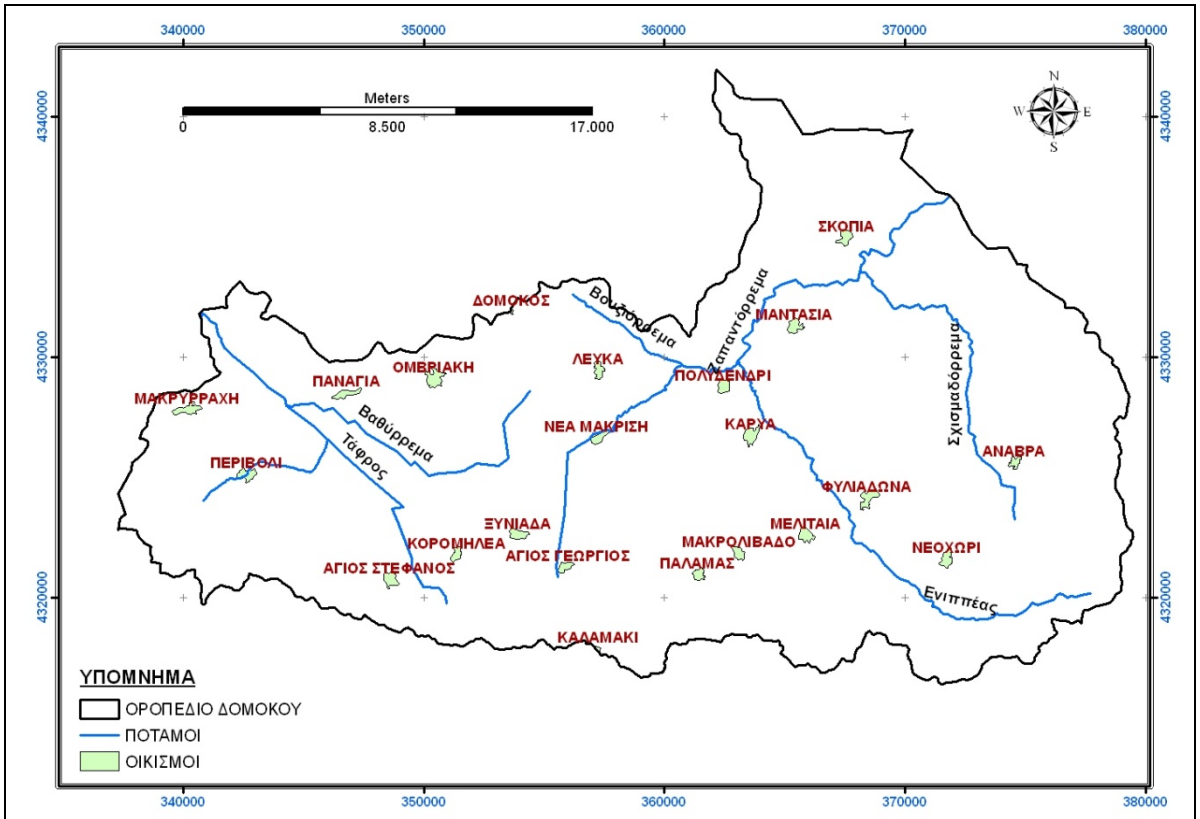
Σχήμα 3.6. Χάρτης των 41 τοπικών κοινοτήτων που βρίσκονται εξολοκλήρου ή μερικώς εντός της περιοχής έρευνας.

παρουσιάζοντας μείωση της τάξης του 4,20%. Σύμφωνα με τα στοιχεία του δήμου Δομοκού, τα τελευταία χρόνια στο δήμο, με τη σημερινή μορφή του μετά και την εφαρμογή του

Καλλικράτη υπάρχει πληθυσμιακή μείωση. Το 1940 ο πληθυσμός ήταν 19.435 κάτοικοι, το 1960 ήταν 20.950, το 1991 ήταν 15.035 και το 2001 ήταν 14.793 κάτοικοι, ενώ σύμφωνα με τα προσωρινά αποτελέσματα της απογραφής του 2011 ο μόνιμος πληθυσμός του δήμου είναι 11.670 κάτοικοι. Η μείωση του πληθυσμού από το 1960 έως το 2001 είναι αρκετά σημαντική της τάξης του 29,4%, ενώ διαπιστώθηκε πως τον μεγαλύτερο πληθυσμό είχε στην απογραφή του 1960 (*ΕΣΥΕ* 2002, *ΕΣΥΕ* 2011, http://www.domokos.org).

Πίνακας 3.3. Η έκταση και η περίμετρος που καταλαμβάνουν οι 7 Δήμοι που βρίσκονται μερικώς στο οροπέδιο Δομοκού.

ΔΗΜΟΙ	Εμβαδό (km^2)	Περίμετρος (km)
Δομοκού	434,2	161,57
Αλμυρού	92,89	42,50
Φαρσάλων	47,68	39,80
Λαμιέων	26,52	54,09
Μακρακώμης	3,57	18,92
Στυλίδας	1,64	11,37
Σοφάδων	0,19	2,11



Σχήμα 3.7. Χάρτης των Οικισμών που βρίσκονται εντός ή στα όρια της περιοχής έρευνας.

Η κατανομή του πραγματικού πληθυσμού των κυριότερων Τοπικών Κοινοτήτων του οροπεδίου από το 1971 έως και την απογραφή του 2001 απεικονίζονται στον πίνακα 3.4. (*ΕΣΥΕ* 1985, 1994, 2002). Από τα στοιχεία του πίνακα 3.4 διαπιστώνεται μείωση του πληθυσμού σε όλες τις Τοπικές Κοινότητες από το 1971 έως το 1981, γεγονός που αποδίδεται στην εσωτερική μετανάστευση στα αστικά κέντρα, ενώ τις επόμενες δυο δεκαετίες παρατηρούνται αυξομειώσεις του πληθυσμού. Οι μεγαλύτερες συνολικά μειώσεις πληθυσμού τα τελευταία 30 χρόνια διαπιστώθηκαν στις Τοπικές Κοινότητες Μαντασιάς και

Νεοχωρίου, της τάξης του 61% και 55% αντίστοιχα, και οι μεγαλύτερες αυξήσεις στον Άγιο Γεώργιο και στην Ανάβρα της τάξης του 26% και 23% αντίστοιχα.

Πίνακας 3.4. Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού των κύριων Τοπικών Κοινοτήτων των Δήμων που απαρτίζουν την περιοχή έρευνας από το 1971 έως 2001 (Πηγή: ΕΣΥΕ).

α/α	Τοπικές Κοινότητες	Πληθυσμός				Μεταβολή %		
		1971	1981	1991	2001	71-81	81-91	91-01
1	Δομοκού	1.992	1.735	1.939	1.556	-13	12	-20
2	Ομβριακής	1.325	1.333	1.758	1.551	1	32	-12
3	Ξυνιάδας	579	575	593	631	-1	3	6
4	Αγ. Γεωργίου	381	275	217	380	-28	-21	75
5	Μακρυρράχης	720	567	508	470	-21	-10	-7
6	Καρυών	444	414	325	318	-7	-21	-2
7	Μελιταίας	484	352	390	304	-27	11	-22
8	Φηλιαδώνας	596	523	460	514	-12	-12	12
9	Μαντασιάς	666	521	411	336	-22	-21	-18
10	Νεοχωρίου	418	231	159	193	-45	-31	21
11	Σκοπιάς	493	380	332	307	-23	-13	-8
12	Ανάβρας	852	661	899	987	-22	36	10

3.6 Απασχόληση-Παραγωγικοί τομείς

Η απασχόληση του πληθυσμού είναι κυρίως αγροτική και σε μικρότερο βαθμό κτηνοτροφική, με τα τελευταία χρόνια να παρατηρείται μια γενικότερη αύξηση της αγροτικής παραγωγής χάρη στις αλλαγές στην αγροτική οικονομία και στην κοινωνία. Ο οικονομικώς ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός και οι απασχολούμενοι κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας, καθώς και οι άνεργοι των Τοπικών Κοινοτήτων των οποίων οι οικισμοί βρίσκονται εντός της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5 (*ΕΣΥΕ* 2001).

Από τα στοιχεία του πίνακα διαπιστώνεται ότι από το σύνολο του οικονομικά ενεργού πληθυσμού το 63,85% είναι απασχολούμενοι στον πρωτογενή τομέα, το 9,37% στο δευτερογενή τομέα και το 24,68% στον τριτογενή τομέα, ενώ δε δήλωσε κλάδο οικονομικής δραστηριότητας το 2,09%. Η περιοχή του οροπεδίου θα μπορούσε να χαρακτηριστεί γενικότερα σαν περιοχή των δημητριακών, με χαμηλές αποδόσεις και μια συντηρούμενη χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού με αποκλειστική καλλιέργεια τις καλλιέργειες του σκληρού σταριού και του κριθαριού. Ο πολλαπλασιασμός όμως των γεωτρήσεων οδήγησε στην επέκταση αρδευόμενων καλλιεργειών όπως το καλαμπόκι, τα ζαχαρότευτλα και η βιομηχανική τομάτα, ενώ τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια αναδιάρθρωσης από άλλες καινοτόμες και προωθούμενες εμπορικά καλλιέργειες (αρωματικά-φαρμακευτικά φυτά, ενεργειακές καλλιέργειες κλπ).

Ο αριθμός των εκμεταλλεύσεων και οι εκτάσεις αυτών κατά είδος καλλιέργειας συνολικά για την περιοχή έρευνας, όπως προέκυψαν από τα αποτελέσματα της απογραφής Γεωργίας-Κτηνοτροφίας 1999-2000 (*ΕΣΥΕ* 2001), παρουσιάζονται στον πίνακα 3.6. Διαπιστώνεται ότι το συντριπτικό ποσοστό 98% από το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων είναι ετήσιες καλλιέργειες, οι οποίες καλλιεργούνται στο 70% από το σύνολο των εκμεταλλεύσεων. Η κτηνοτροφία ασκείται με παραδοσιακό εκτατικό τρόπο. Το 90% των αιγοπροβάτων και το 30% περίπου των βοοειδών βόσκουν κυρίως στους ημιορεινούς βοσκότοπους της Όθρυος.

Πίνακας 3.5. Απασχολούμενοι κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας των τοπικών κοινοτήτων των οικισμών της περιοχής έρευνας (Πηγή: ΕΣΥΕ 2001).

Οικισμοί	Οικονομικώς ενεργοί							Οικονομικώς μη ενεργοί
	Σύνολο	Απασχολούμενοι					Άνεργοι	
		Σύνολο	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Δε δήλωσαν κλάδο οικονομικής δραστηριότητας	Σύνολο	
Καλαμακίου	114	104	60	4	30	10	10	128
Δομοκού	623	555	126	87	310	32	68	824
Καρυών	138	136	117	2	17	0	2	136
Λεύκας	109	101	87	2	10	2	8	104
Μακρολίβαδου	87	87	78	1	8	0	0	94
Μαντασιάς	111	104	84	5	13	2	7	199
Μελιταίας	105	104	73	9	21	1	1	163
Ν. Μάκρισης	64	62	37	3	20	2	2	65
Νεοχωρίου	57	57	44	7	6	0	0	115
Παλαμά	135	125	85	12	26	2	10	179
Πολυδενδρίου	25	24	18	0	6	0	1	50
Φηλιαδώνας	207	200	130	20	47	3	7	280
Ομβριακής	537	498	319	55	123	1	39	505
Αγ. Γεωργίου	91	85	59	6	18	2	6	118
Αγ. Στεφάνου	98	88	64	5	19	0	10	110
Κορομηλέας	114	108	76	18	14	0	6	117
Μακρυρράχης	128	120	76	9	31	4	8	268
Ξυνιάδος	280	270	181	30	58	1	10	274
Παναγίας	75	75	53	8	13	1	0	89
Περιβολίου	191	186	139	20	23	4	5	250
Ανάβρας	249	245	216	7	19	3	4	278
Σκοπιάς	110	102	72	12	16	2	8	162

Πίνακας 3.6. Εκμεταλλεύσεις και εκτάσεις σε στρέμματα κατά είδος καλλιέργειας για το οροπέδιο Δομοκού σύμφωνα με την απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας 1999-2000 (Πηγή: ΕΣΥΕ).

Είδος Καλλιέργειας	Αριθμός Εκμεταλλεύσεων	Εκτάσεις (στρέμματα)
Ετήσιες Καλλιέργειες	2.209	184.202
Δενδρώδεις Καλλιέργειες	77	972,5
Αμπέλια	21	61,5
Μόνιμα Λιβάδια/Βοσκότοποι	9	146
Αγραναπαύσεις	122	1.803,4
Οικογενειακοί Λαχανόκηποι	719	199
Άλλες Πολυετείς φυτείες	1	99
Σύνολο	3.158	187.483,8

Τα θαμνολίβαδα πουρναριού είναι τα σπουδαιότερα λιβάδια της περιοχής και στηρίζουν την αιγοτροφία του οροπεδίου. Τελευταία, παρατηρούνται τάσεις εντατικοποίησης της εκτροφής των ζώων με μεγαλύτερη έμφαση στον ενσταυλισμό και στην παραγωγή ζωοτροφών στις γεωργικές εκτάσεις (*http://www.greekscapes.gr*). Ο αριθμός των εκμεταλλεύσεων και των ζώων ανά κατηγορία συνολικά για την περιοχή έρευνας, όπως προέκυψαν από τα αποτελέσματα της απογραφής Γεωργίας-Κτηνοτροφίας 1999-2000 (*ΕΣΥΕ* 2001) παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7. Εκμεταλλεύσεις και αριθμός ζώων ανά κατηγορία για το οροπέδιο Δομοκού σύμφωνα με την απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας 1999-2000 (Πηγή: ΕΣΥΕ).

Κατηγορία	**Αριθμός Εκμεταλλεύσεων**	**Αριθμός ζώων**
Βοοειδή	79	6.510
Πρόβατα	437	21.949
Αίγες	552	19.537
Χοίροι	371	4.794
Ιπποειδή	85	103
Κουνέλια	223	6.035
Πουλερικά	1.382	45.793
Μέλισσες	12	(αρ.κυψελών) 452

3.7 Χρήσεις γης

3.7.1 Ταξινόμηση χρήσεων γης

Πολύ σημαντική θέση στις περιβαλλοντικές μελέτες κατέχουν τα τελευταία χρόνια οι χρήσεις/κάλυψης γης, ενώ καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική η μελέτη τους καθώς αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την έρευνα μιας περιοχής.

Η κάλυψη γης (land cover) σχετίζεται με τον τύπο των βιοφυσικών χαρακτηριστικών που εμφανίζονται και παρατηρούνται στην επιφάνεια της γης. Οι δομημένες περιοχές, οι υδάτινες μάζες, η βλάστηση, οι παγετώνες, είναι παραδείγματα διαφορετικών τύπων κάλυψης γης. Ο όρος χρήση γης (land use) σχετίζεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα και τις κοινωνικό-οικονομικές και πολιτικές συνθήκες που επικρατούν. Εκδηλώνονται σε ένα συγκεκριμένο τμήμα γης, και σχετίζονται με τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα βιοφυσικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο. Η χρήση γης αποτελεί στην πραγματικότητα την σύνδεση μεταξύ της κάλυψης γης και των διάφορων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, που εκμεταλλεύονται και διαμορφώνουν το τοπίο (*Lillesand and Kiefer* 1994, *Sabins* 1997, *Geist and Lambin* 2002, *Nagendra et al.* 2004, *Σταυριανού* 2009, *Ψωμιάδης* 2010).

Στην παρούσα διατριβή για την καταγραφή και τη χαρτογραφική απεικόνιση της εδαφικής κάλυψης της γης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Corine 2000 (CORINE Land Cover project) από τη βάση δεδομένων *http://geodata.gov.gr/geodata*. Το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης Corine 2000 δημιουργήθηκε με σκοπό τη παροχή πληροφοριών για την κάλυψη, τις χρήσεις γης και τους τύπους βλάστησης των χωρών που συμμετέχουν στο πρόγραμμα. Ο σκοπός είναι αυτές να χρησιμοποιηθούν για την αειφορική διαχείριση των φυσικών πόρων και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Τα δεδομένα του προγράμματος διακρίνονται σε τρία επίπεδα ταξινόμησης, με βάση το σύστημα ταξινόμησης του προγράμματος, όπου κάθε χρήση και κάλυψη γης αναπαρίσταται με ένα κλειστό πολύγωνο το οποίο έχει ένα τριψήφιο κωδικό. Ο κωδικός αυτός δημιουργείται από μία σύνθεση των μονοψήφιων κωδικών των τριών επιπέδων ταξινόμησης και τα τελικά στοιχεία

εμφανίζονται σε μορφή χάρτη, στον και οποίο διακρίνονται οι περιοχές με τις συγκεκριμένες χρήσεις και τους τύπους γης.

Οι κλάσεις ταξινόμησης των χρήσεων/κάλυψης γης ανά κατηγορία, η ακριβή έκτασή τους, όπως εμβαδομετρήθηκαν από το ArcGis, καθώς και το ποσοστό τους στο σύνολο της έκτασης του οροπεδίου, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.8. Επιπλέον στο σχήμα 3.8 παρουσιάζεται ο χάρτης της χωρικής απεικόνισή τους. Παρατηρούμε ότι από τις συνολικά 45 κατηγορίες χρήσεων και κάλυψης γης που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα Corine, μόνο οι 13 απαντώνται στο οροπέδιο Δομοκού. Το γεγονός σχετίζεται με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, το ανάγλυφο, τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Διαπιστώνεται, ότι η λεκάνη του οροπεδίου Δομοκού καλύπτεται σε ποσοστό 50,42% από καλλιεργούμενες εκτάσεις, με την μεγαλύτερη έκταση χρήσης/κάλυψης γης να καταλαμβάνουν οι μη αρδευόμενες καλλιέργειες με 238,82 km^2 και ποσοστό 39,36%. Στην υπόλοιπη περιοχή επικρατεί η θαμνώδης σκληροφυλλική βλάστηση με 154,97 km^2 και ποσοστό στο σύνολο του οροπεδίου 25,54%. Σε ορισμένα τμήματα της περιοχής έρευνας,

Πίνακας 3.8. Οι κατηγορίες, η έκταση και το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι χρήσεις/κάλυψης γης στο οροπέδιο Δομοκού.

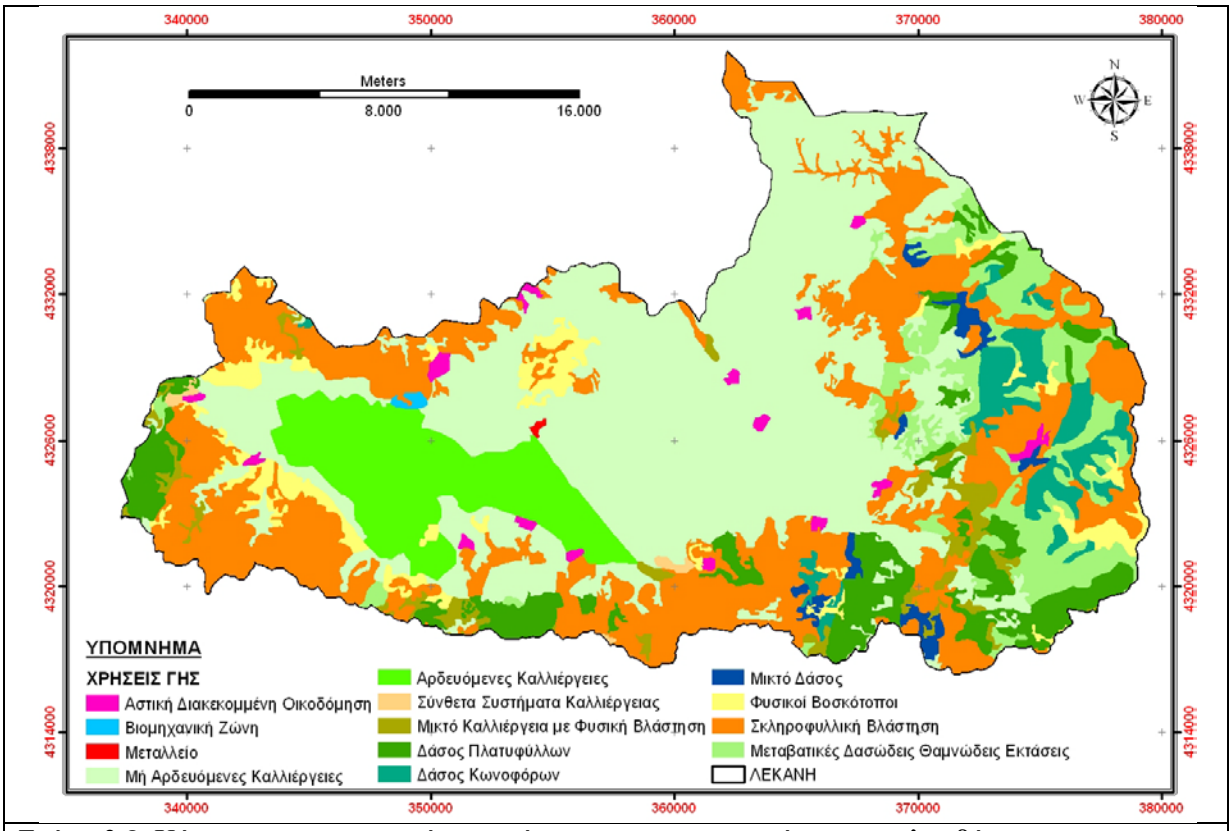
Κωδικός	**Κατηγορία χρήσης**	**Έκταση (km^2)**	**Ποσοστό (%)**
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	5,46	0,90
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0,75	0,12
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0,25	0,04
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	238,82	39,36
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	51,24	8,45
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	1,34	0,22
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	14,53	2,39
311	Δάσος πλατυφύλλων	44,1	7,27
312	Δάσος κωνοφόρων	20,74	3,42
313	Μικτό δάσος	6,81	1,12
321	Φυσικοί βοσκότοποι	24,61	4,06
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	154,97	25,54
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	43,07	7,11

δυτικά, νότια και ανατολικά κυριαρχεί η πυκνή δενδρώδης βλάστηση από δάση πλατύφυλλων και κωνοφόρων. Ένα μικρό ποσοστό 4,06% καλύπτουν εκτάσεις φυσικών βοσκοτόπων. Αυτές βρίσκονται κυρίως στους πρόποδες των εξάρσεων που περιβάλλουν την αποξηραμένη λίμνη και που συνίστανται από εποχιακή χορτολιβαδική βλάστηση και από πολυετή ξυλώδη του γένους *Alyssum*. Επιπλέον και όσον αφορά την έννοια του όρου της αστικής διακεκομμένης δόμησης, αυτή περιγράφει τη συνηθισμένη και χαρακτηριστική μορφή δόμησης των οικισμών της ελληνικής υπαίθρου, που απαντώνται και στο οροπέδιο.

Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι ο πρώτος αναδασμός και ένας από τους πρώτους στην Ελλάδα ξεκίνησε στην επαρχία Δομοκού το 1953 και ολοκληρώθηκε μέχρι το τέλος του 1992, αφού είχε εφαρμοστεί σε όλα σχεδόν τα χωριά και στο 80% της γεωργικής γης. Η εφαρμογή του αναδασμού είχε ως άμεσο επακόλουθο τη μείωση του έντονου

πολυτεμαχισμού των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (από 11,8 αγροτεμάχια κατά μέσο όρο σε 4,7). Από την άλλη, προκάλεσε δύο σημαντικές αλλαγές, καθώς οδήγησε σε έργα μαζικής εκρίζωσης φυτικών φραχτών, κάλυψης χειμάρρων και λάκκων, αφού εφαρμόστηκε σε περιοχές με χαμηλή γεωργική αλλά υψηλή οικολογική αξία. Έπαιξε επίσης το ρόλο του επιταχυντή των αλλαγών με την εντατικοποίηση της αγροτικής παραγωγής. Το αποτέλεσμα ήταν να ενταθούν τα διαβρωτικά φαινόμενα και η αγροτική γη να χάσει σε μεγάλο βαθμό την αξία της, ως ενδιαίτημα ορισμένων φυτών και ζώων, αφού απομακρύνθηκαν τα υπολείμματα της φυσικής βλάστησης που υπήρχαν στη γύρω περιοχή και τα περιθώρια των χωραφιών. Επίσης καταστράφηκαν ορισμένα στοιχεία των παραδοσιακών αγροτικών τοπίων και επιταχύνθηκε η δημιουργία νέων σχέσεων ανάμεσα στους ανθρώπους και τη γη.

Πάντως, παρά τις αλλαγές αυτές, τα στοιχεία της φυσικής βλάστησης που διατηρούνται (μορφή, ύψος, συνέχεια, εποχιακή ποικιλότητα, κατανομή, έκταση), προσδίδουν ποικιλότητα στο τοπίο και συμβάλλουν στη διατήρηση σημαντικών οικολογικών λειτουργιών (*http://www.greekscapes.gr*).



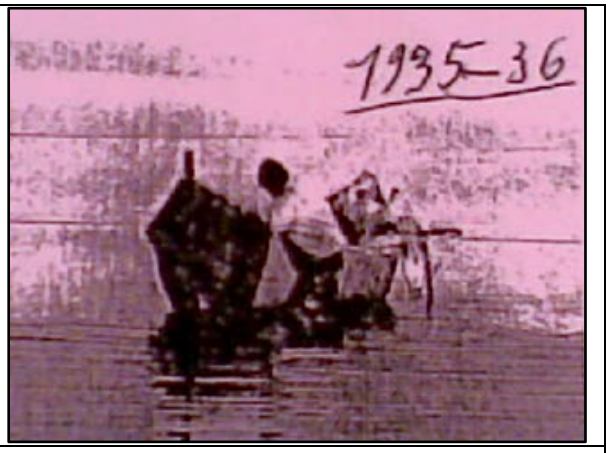
Σχήμα 3.8. Χάρτης με τις κατηγορίες, την έκταση και το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι χρήσεις/κάλυψης γης στο οροπέδιο Δομοκού.

3.7.2 Αποξηραμένη λίμνη Ξυνιάδας

3.7.2.1 Η πρώην λίμνη

Η λίμνη Ξυνιάδας ήταν μια εσωτερική λίμνη έκτασης 28 km^2 – 32 km^2 περίπου της οποίας ο πυθμένας βρισκόταν σε υψόμετρο 454 m, το μέγιστο βάθος της ήταν περίπου 5,5 m και προήλθε από την τεκτονική δράση ρηγμάτων που δημιούργησαν ένα τοπικό βύθισμα. Στη νοτιοανατολική όχθη της σχηματίζονταν δυο μικρές νησίδες στη μεγαλύτερη από τις οποίες, με ύψος 100 m περίπου, υπάρχουν και σήμερα από τη μυκηναϊκή εποχή τα ερείπια των τειχών της αρχαίας Ακροπόλεως Ξυνιάδας. Το σχήμα της ήταν ελικοειδές, το μήκος ήταν περίπου 10 km και το πλάτος στο κέντρο της λίμνης 4 km περίπου. Εκτεινόταν ανατολικά μέχρι τις παρυφές της Ξυνιάδας και δυτικά μέχρι το σιδηροδρομικό σταθμό Αγγειών, βόρεια μέχρι τον κάμπο των οικισμών της Ομβριακής και της Παναγιάς και νότια

μέχρι την Κορομηλιά και τον Άγιο Στέφανο. Το όνομά της το οφείλει σύμφωνα με κάποιους στη μικρή ομώνυμη πόλη που υπήρχε κατά την αρχαιότητα πάνω στην μικρή νησίδα που βρίσκονταν στην Νοτιοανατολική όχθη της. Κατά άλλους στη λέξη «Κοινή» αρχαϊκώς «Ξοινή» επειδή βρισκόταν στο μεταίχμιο της Στερεάς Ελλάδας και της Θεσσαλίας. Άλλοι πάλι αποδίδουν το όνομά της όπως προαναφέρθηκε, στις «Ξυνίες» Νύμφες που κατά τη λαϊκή παράδοση κατέβαιναν από τα γειτονικά βουνά για να λούσουν τα μακριά τους μαλλιά. Η λίμνη ήταν εμπλουτισμένη με ψάρια με κυριότερα είδη τα: κυπρίνος (*Cyprinus carpio*), τούρνα (*Esox lucius*), λεστιά (*Abramis brama*), γλήνι (*Tinca tinca*), πλατίτσα (*Rutilus rutilus*) (*Δελημπούρας* 2007, *ΕΚΒΥ* 2008, Σχήμα 3.*9*).



Σχήμα 3.9. Ψαράδες στη λίμνη Ξυνιάδας το 1936.

3.7.2.2 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη

Η λεκάνη της Ξυνιάδας αποτελεί μία τεκτονική τάφρο μεταξύ των ορεινών εξάρσεων του Ξεροβουνίου και Περιβολίου-Αγ. Στεφάνου. Κυρίαρχο χαρακτηριστικό της τεκτονικής της λεκάνης είναι η πτυχωσιγενής τεκτονική, που ακολουθεί τους άξονες των αντικλίνων του Ξεροβουνίου – Όθρυος, με διευθύνσεις Β65^{o}Δ έως Β80^{o}Δ και ρήγματα παράλληλα και κάθετα στους άξονες των πτυχώσεων. Αυτές είχαν σαν αποτέλεσμα τις τοπικές βυθίσεις του υποβάθρου και τη δημιουργία τάφρου στην περιοχή της αποξηρανθείσας λίμνης (*Κάρμης* 2010).

Στο αρχικό στάδιο, η δημιουργημένη τάφρος άρχισε να πληρώνεται με χερσαίες και ποταμοχειμάριες αποθέσεις. Με το βάρος των ιζημάτων παρατηρείται συνεχής συνίζηση της τάφρου και έτσι, με το τέλος Πλειοκαίνου και στις αρχές Πλειστοκαίνου, η τάφρος εξελίσσεται σε λίμνη, όπου αποτίθενται ιλυούχοι άργιλοι, μάργες απολιθωματοφόρες, ψηφίδες και άμμοι. Η έκταση της παλαιογεωγραφικής αυτής λίμνης ήταν μεγαλύτερη από αυτή των ιστορικών χρόνων και η θέση της προσδιορίζεται λίγο ανατολικότερα της τέως αποξηραμένης λίμνης. Τα πάχη των λιμναίων ιζημάτων απαντώνται σε πάχη που φθάνουν μέχρι και 64 m. Κατά το Αν. Πλειστόκαινο αλλάζει ο ρυθμός συνίζησης και η λίμνη εξελίσσεται σε έλος, οπότε αρχίζει η απόθεση τελματικών ιζημάτων σε πάχη από 6 έως 60 m και στρωμάτων λιγνίτη σε ποικιλότροπες εναλλαγές. Με το βάρος των ιζημάτων παρατηρείται συνίζηση και δραστηριοποίηση των γενεσιουργών ρηγμάτων (*Δημητρίου και Αραπογιάννης* 2001).

Η ραδιοχρονολόγηση δειγμάτων, που βασίστηκε στην πυρηνοληψία από το ΙΓΜΕ στρωμάτων λιμναίων αποθέσεων βάθους 15 m περίπου από το κέντρο της λίμνης, έδειξε ότι η ηλικία τους φθάνει μέχρι 46.000 χρόνια από σήμερα (*Bottema* 1979). Επιπλέον, τα παλυνολογικά συμπεράσματα έδειξαν, ότι το επίπεδο της λίμνης άρχισε να χαμηλώνει στα 32.000 χρόνια και παρέμεινε χαμηλό για μια μεγάλη περίοδο από 21.000 έως 15.000 χρόνια από σήμερα και κατά την διάρκεια της μέγιστης τελευταίας παγετώδους περιόδου. Η διαπίστωση έρχεται σε αντίθεση με τη μέχρι σήμερα επικρατούσα άποψη για το υψηλό

επίπεδο της λίμνης (*Harrison and Digerfeldt* 1993, *Yu and Harrison* 1995, *Yu* 1996) και σε συνδυασμό με παρόμοια συμπεράσματα για τη λίμνη Ιωαννίνων (*Frogley* 1998), αποτελεί μια σημαντική και σε περιφερειακό επίπεδο αναφορά κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα (*Digerfeldt et al.* 2000, *Digerfeldt et al.* 2007).

3.7.2.3 Αποξήρανση λίμνης

Η Ελλάδα τα τελευταία 70 χρόνια έχασε με την πολιτική των μαζικών αποξηράνσεων πάνω από το 65% των υδροβιοτοπικών της εκτάσεων. Οι αποξηράνσεις είχαν τότε κριθεί απαραίτητες για να αντιμετωπιστούν τα μεγάλα προβλήματα της ελονοσίας, των πλημμυρών, της εξασφάλισης αρδευτικού νερού, καθώς και περισσότερων εκτάσεων για καλλιέργεια. Στην ηπειρωτική Ελλάδα απέμειναν 411 υγρότοποι, οι περισσότεροι εκ των οποίων στα βόρεια της χώρας, ενώ στα νησιά (εκτός της Κρήτης) έχουν καταγραφεί 352 μικροί υγρότοποι (*http://www.ekby.gr*).

Στην περίπτωση της λίμνης Ξυνιάδας βασικοί λόγοι που επέβαλαν την αποξήρανση της ήταν, η υγεία των παραλιμνίων κατοίκων που μαστίζονταν από την ελονοσία και η προστασία των εδαφών της θεσσαλικής πεδιάδας από τις χειμερινές πλημμύρες στην περιοχή των Σοφάδων. Επιπλέον σημαντικό ρόλο έπαιξε η αποκάλυψη νέων καλλιεργήσιμων εκτάσεων με σκοπό την παραχώρησή τους στους ακτήμονες, αλλά και στους ψαράδες που θα έχαναν τη δουλειά τους. Την αποξήρανση της λίμνης είχε αναλάβει αρχικά η γερμανική εταιρεία Καντζούχ το 1930 αλλά απέτυχε και το έργο ανέλαβε να ολοκληρώσει η Εθνική Τράπεζα της Ελλάδας. Η έναρξη των αποξηραντικών έργων της λίμνης έγινε στις 10 Δεκεμβρίου 1936.

Κατά τη διάρκεια όμως του Ελληνοϊταλικού πολέμου και της περιόδου κατοχής τα έργα επιβραδύνθηκαν, ενώ στη διάρκεια του εμφυλίου, η εταιρία Ξυνιάς Α.Ε. που συνέχιζε την



Σχήμα 3.10. Η κεντρική αποστραγγιστική τάφρος ανάντη της γέφυρας των Αγγειών.

εκτέλεση του έργων, υπέστη ολοκληρωτική καταστροφή των εγκαταστάσεών της, των μηχανημάτων, αλλά και των γεωργικών της εργαλείων. Ξανάρχισε τις εργασίες της μετά τον πόλεμο και επανόρθωσε τις ζημιές και καταστροφές που είχαν προκληθεί χωρίς να τύχει καμιάς κρατικής αποζημίωσης ή ενίσχυσης.

Μια εξωτερική τάφρος μήκους 7 χιλιομέτρων και μέγιστου βάθους 12 μέτρων, διοχέτευσε τα νερά της λίμνης, μέσω του χειμάρρου Ονώχονου στον Ενιππέα και από εκεί στον Πηνειό (Σχήμα 3. 10). Επιπλέον, δημιουργήθηκαν εσωτερικά της λίμνης μια τάφρος 5 χιλιομέτρων και δύο σήραγγες, μιας μήκους 40 μέτρων κάτω από την σιδηροδρομική γραμμή και μιας μήκους 23 μ. κάτω από τη γραμμή «Ντεκοβίλ» - Δημοσίου δρόμου. Η βραχώδης εκσκαφή, σε συνδυασμό με την εκσκαφή εντός του λασπώδους υγρού εδάφους και της αστάθειας των εδαφών, δημιούργησε στο έργο αρκετά προβλήματα, δεδομένου ότι αποκλείονταν η χρήση απλών σκαπτικών μηχανημάτων. Παρουσιάστηκε έτσι η ανάγκη για την κατασκευή και την επιτόπου συναρμολόγηση ειδικής αναρροφητικής πλωτής βαθυκόρου, χάρη στην οποία έγινε η εκσκαφή των μη βραχωδών τμημάτων, εντός και εκτός της λίμνης και αποχετεύτηκαν τα 120 εκατ. κυβικά μέτρα νερού (*Δελημπούρας* 2007, *ΕΚΒΥ* 2008, *http://www.gaiaelliniki.gr*).

3.7.3 Μεταλλεία χρωμίτη

Η περιοχή του οροπεδίου Δομοκού αποτέλεσε, με την ύπαρξη δύο μεταλλείων, μια από τις πιο σημαντικές από άποψη χρωμιτοφορίας και μεταλλευτικής δραστηριότητας περιοχές της χώρας. Στον οικισμό Μεταλλεία υπήρχαν αξιόλογα αποθέματα χρωμίτη και σημαντική μεταλλευτική δραστηριότητα. Η έναρξή της ξεκίνησε με την ανακάλυψη μιας μικρής επιφανειακής εμφάνισης χρωμίτη, που οδήγησε στον εντοπισμό εκατοντάδων χιλιάδων τόνων μεταλλεύματος. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του μεταλλείου την περίοδο 1918-1991 εξορύχτηκαν συνολικά περί τους 600.000 τόνους συμπαγούς χρωμίτη.

Τα Μεταλλεία ανήκαν από το 1908 στην οικογένεια Καρατζά από το Δομοκό και στη συνέχεια αγοράστηκαν από τη "Μεταλλευτική". Λειτούργησαν σχεδόν χωρίς διακοπή από το 1908 ως το 1961, ακόμη και κατά τη διάρκεια της κατοχής. Οι Γερμανοί μετέφεραν το μετάλλευμα, ως το σιδηροδρομικό σταθμό στις Αγγείες και από εκεί το μεταφόρτωναν σε τρένα, ενώ με το τέλος του πολέμου ανατίναξαν τις εγκαταστάσεις. Από το 1959 το μεταλλείο άρχισε να παρουσιάζει οικονομική ζημία και λόγω και της πτώσης των τιμών του χρωμίτη έκλεισε το 1961.

Η δεύτερη περίοδος λειτουργίας του αφορά την περίοδο 1976-1991 και άρχισε με την μίσθωση (1976) του μεταλλείου στην ΑΕΕΜΒΝ (πρώην συγκρότημα Σκαλιστήρη), η οποία ξεκίνησε αμέσως ένα εντατικό πρόγραμμα που σταμάτησε το 1991. Σήμερα υπάρχουν τα ερείπια των εγκαταστάσεων, λίγα από τα παλιά οικήματα και μια μικρή λίμνη που έχει δημιουργηθεί από την καταβύθιση των παλιών στοών (Σχήμα 3.11). Οι προοπτικές για την επαναλειτουργία του μεταλλείου υπό τις υπάρχουσες συνθήκες παρουσιάζονται αρνητικές. Σε αντίθεση η λίμνη που έχει δημιουργηθεί στη θέση του μεταλλείου θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και να αποτελέσει μικρής έκτασης υδροβιότοπο για αποδημητικά πτηνά (*Ράσσιου κ.ά.* 2003, *Αποστολόπουλος* 2007).

Το μεταλλείο χρωμίτη στον οικισμό του Αγ. Στεφάνου αποτέλεσε μικρό μεταλλείο, με συνολική παραγωγή περίπου 50.000 τόνους συμπαγούς χρωμίτη. Αρχικά η εκμετάλλευση γινόταν με μικρής κλίμακας υπόγειες εργασίες. Αργότερα ακολούθησε επιφανειακή εκμετάλλευση μέχρις εξαντλήσεως των αποθεμάτων. Το εξορυσσόμενο μετάλλευμα μεταφερόταν οδικώς στο μεταλλείο στον οικισμό Μεταλλεία και υφίστατο την επεξεργασία που γινόταν και στο εκεί μετάλλευμα. Η πρώτη περίοδος της δραστηριότητας κράτησε μέχρι το 1961, ενώ από το 1976 έως το 1980 ξεκίνησε από την ΑΕΕΜΒΝ μικρή δραστηριοποίηση με παραγωγή περίπου 4.000 τόνων μεταλλεύματος. Η περιοχή στο Μεταλλείο Αγ. Στεφάνου παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον, λόγω των χαρακτηριστικών σπάνιων δειγμάτων μεταλλεύματος χρωμίτη συμπαγούς τύπου και ως εκ τούτου, αποτελεί διεθνή

πόλο επισκέψεων και διαθέτει εκείνα τα στοιχεία για να την αναδείξουν σε γεώτοπο και γεωτουριστική στάση (*Ράσσιου κ.ά.* 2003).

Αξίζει να επισημανθεί επιπλέον, η ύπαρξη επάλληλων λιγνιτικών στρωμάτων στην περιοχή κάτω από την πρώην λίμνη Ξυνιάδας, με το πάχος και τη ποιότητα τους να επηρεάζονται από τις συνθήκες που επικρατούσαν κατά την διάρκεια της τυρφογένεσης. Το όλο κοίτασμα καταλαμβάνει έκταση 12,03 km^2 και περιέχει βεβαιωμένο γεωλογικό απόθεμα 53,9 εκατ. τόνους. Αρχικά υπήρξαν σκέψεις για εκμετάλλευσή του στην ηλεκτροπαραγωγή, όμως το χαμηλό θερμικό του περιεχόμενο αποτέλεσε αποτρεπτικό παράγοντα. Οι μετρήσεις άλλων χαρακτηριστικών του όμως, έδειξαν ότι το λιγνιτικό κοίτασμα μπορεί να αξιοποιηθεί στην παραγωγή οργανοχουμικών λιπασμάτων, δεδομένου ότι οι αρχικές ενδείξεις ήταν ενθαρυντικές (*Δημητρίου και Αραπογιάννης* 2001).



Σχήμα 3.11. Η λίμνη λόγω της καταβύθισης των παλιών στοών των μεταλλείων.

3.7.4 Έργα υποδομής και ανάπτυξης

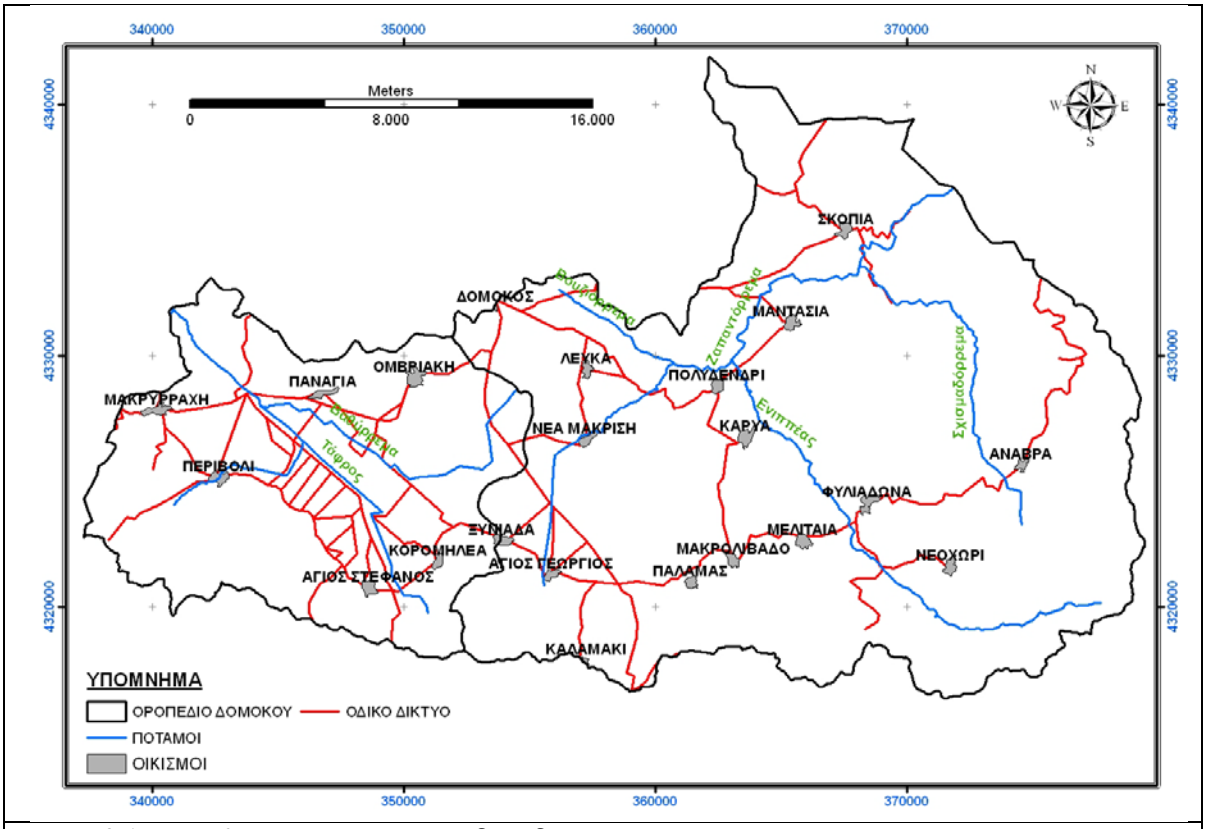
3.7.4.1 Οδικό δίκτυο

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται εσωτερικά της εθνικής οδού Αθηνών – Θεσσαλονίκης και απέχει αρκετά από αυτήν. Οι οδικές αρτηρίες συνδέουν όλες τις τοπικές κοινότητες του οροπεδίου μεταξύ τους και καθιστούν εύκολη την πρόσβαση στην περιοχή και τη διακίνηση των κατοίκων. Το οδικό δίκτυο στην περιοχή έρευνας, με συνολικό μήκος όπως υπολογίστηκε στο ArcGis 245,6 km, αποτελούν: (α) ο βασικός οδικός άξονας της παλαιάς Εθνικής Οδού (Λαμίας-Δομοκού-Λάρισας) και (β) το κοινοτικό δίκτυο (Σχήμα 3.12). Τη συγκοινωνία εξυπηρετεί και το σιδηροδρομικό δίκτυο με το οποίο μπορεί κανείς να μεταβεί στην περιοχή διαμέσου των τρένων της γραμμής του άξονα Αθήνα-Θεσσαλονίκη, μεταβαίνοντας σε κοντινούς σταθμούς, όπως τις Αγγείες και του Δομοκού.

3.7.4.2 Αναπτυξιακά έργα

Στο οροπέδιο Δομοκού υπάρχουν δύο μεγάλα αναπτυξιακά έργα που προστατεύουν το περιβάλλον και αναδεικνύουν τη φύση. Βρίσκονται στην τοπική κοινότητα της Ανάβρας και

είναι το αιολικό πάρκο στην περιοχή Αλογοράχη και το περιβαλλοντικό πολιτιστικό πάρκο «Γούρα» στις πηγές της Ανάβρας. Το αιολικό πάρκο Αλογοράχης είναι το πρώτο αρχικά που κατασκευάστηκε στην περιφέρεια Θεσσαλίας, έχει ονομαστική ισχύ 17 MW και αποτελείται από 20 ανεμογεννήτριες 850 kw η κάθε μια. Συνδέεται με το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμή μέσης τάσης και η εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας είναι 38,18 MWh ετησίως. Η ανάπτυξη του έργου ξεκίνησε το τέλος του 2000 και ολοκληρώθηκε το 2006. Το περιβαλλοντικό πολιτιστικό πάρκο «Γούρα» στις πηγές της Ανάβρας αποτελεί μια προσπάθεια ανάδειξης και αξιοποίησης του φυσικού περιβάλλοντος, και των μνημείων και των πολιτισμικών στοιχείων της περιοχής. Η υλοποίηση του έργου έγινε σε δύο φάσεις (2006, 2008) (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.12. Το εθνικό και κοινοτικό οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.

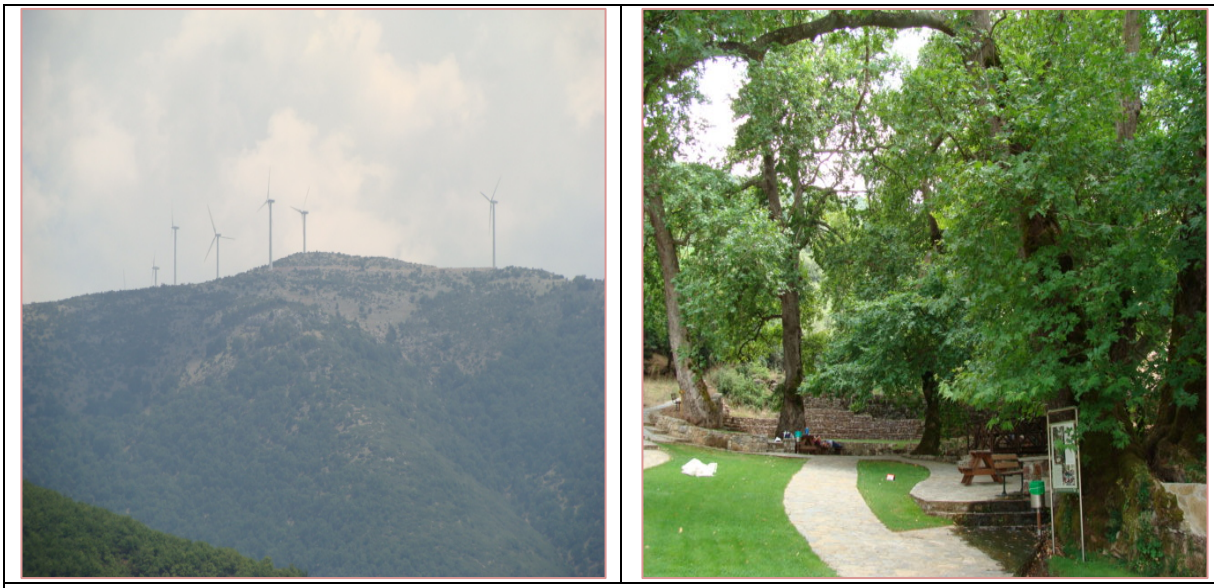
3.7.4.3 Στραγγιστικά και αρδευτικά έργα

Στη λεκάνη Ξυνιάδας και στο χαμηλότερο τμήμα της υπάρχει ένα εκτεταμένο αποστραγγιστικό δίκτυο που αποστραγγίζει την περιοχή. Οι εργασίες αποστράγγισης της λίμνης Ξυνιάδας ξεκίνησαν το 1936 και τελείωσαν στις αρχές της δεκαετίας του 1950, ενώ τα στραγγιστικά έργα ολοκληρώθηκαν το 1972. Το πυκνό αποστραγγιστικό δίκτυο αποτελείται από την κεντρική αποχετευτική τάφρο και τις δευτερεύουσες τάφρους αυτής, καθώς και από δύο παράλληλες τάφρους. Οι παράλληλες περιφερειακές συλλεκτήριες τάφροι βρίσκονται στην νότια και στη βόρεια πλευρά των ορίων του πεδινού τμήματος.

Στην ίδια πεδινή περιοχή της λεκάνης Ξυνιάδας, και για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών της, δημιουργήθηκε Τοπικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε το αρδευτικό έργο του ΤΟΕΒ Ξυνιάδας, με την εκτέλεση 20 υδρογεωτρήσεων κατά την διάρκεια των ετών 1981-1982. Οι γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν αρχικά είχαν ερευνητικό χαρακτήρα και στη συνέχεια προχώρησε το στάδιο εκμετάλλευσης τους, μεθόδευση που κρίθηκε αναγκαία λόγω της έλλειψης προηγούμενων γεωφυσικών και γεωτρητικών ερευνητικών εργασιών. Συνέπεια αυτού ήταν η εκτέλεση έξι

αποτυχημένων γεωτρήσεων και η τελική εκμεταλλεύσιμη παροχή σε 14 παραγωγικές γεωτρήσεις. Από αυτές, οι οποίες λειτουργούν όλες ακόμη και σήμερα, αρδεύονται 7.000 στρέμματα.

Είναι προφανές, ότι το ανάγλυφο στην περιοχή καθόρισε το είδος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και παρεμβάσεων και τις συνεπαγόμενες μεταβολές στη φυσική βλάστηση, ενώ επιπλέον, οι αποστραγγίσεις και η διάνοιξη τάφρων είχαν σαν συνέπεια τη μετατόπιση των διαπλάσεων υγρής φυσικής βλάστησης.



Σχήμα 3.13. Το αιολικό πάρκο και το περιβαλλοντικό πολιτιστικό πάρκο στην Τοπική Κοινότητα της Ανάβρας.

3.7.4.4 Τουρισμός

Στην περιοχή ασκούνται ελάχιστες δραστηριότητες οργανωμένου ιαματικού τουρισμού και αναψυχής. Σήμερα, υπάρχει οργανωμένο υδροθεραπευτήριο στα Ιαματικά λουτρά «Καϊτσας-Δρανίστας» για νεφρικές και νευρικές παθήσεις και λειτουργούν ξενοδοχειακές μονάδες. Η εναλλακτική αυτή μορφή τουρισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, συμβάλλει στην ανάδειξη της περιοχής, καθώς είναι φιλικότερη για το περιβάλλον, αλλά και για την πολιτισμική φυσιογνωμία της. Επιπλέον, το ειδυλλιακό τοπίο, με διάφορους χώρους αναψυχής, τα αναρριχητικά πεδία για αναρρίχηση και εναλλακτική μορφή τουρισμού, το αιολικό πάρκο καθώς και το περιβαλλοντικό πολιτιστικό πάρκο στην ευρύτερη περιοχή της Ανάβρας, αποτελούν πόλο έλξης αρκετών τουριστών. Ο τουρισμός αυτός είναι συνεχής καθ' όλη την διάρκεια του έτους και συνιστά αξιόλογη ενίσχυση του εισοδήματος των κατοίκων της Ανάβρας.

Η πολιτιστική κληρονομιά όλου του οροπεδίου περνά διαχρονικά μέσα από την καθημερινή ζωή των κατοίκων και δημιουργεί ένα σύνολο από παραδόσεις, ήθη και έθιμα, που διατηρούνται ζωντανά έως και σήμερα. Στο πλαίσιο αυτό διάφορα τοπικά παραδοσιακά προϊόντα, με πιο γνωστό το τυρί «κατίκι» με προστατευόμενη ονομασία προέλευσης (Π.Ο.Π.), προσδίδουν ένα ιδιαίτερο χρώμα. Τα τοπικά αυτά προϊόντα σε συνδυασμό με διάφορες εκδηλώσεις που διοργανώνουν πολιτιστικοί σύλλογοι της περιοχής, αποτελούν πόλο έλξης αρκετών επισκεπτών.

3.7.4.5 Προοπτικές

Οι προοπτικές ανάπτυξης στο οροπέδιο Δομοκού παρουσιάζονται θετικές, καθώς έχει ξεκινήσει η νέα χάραξη της ΝΕΟ-Ε65 από Λαμία προς Δομοκό. Το έργο αποτελεί σύμφωνα με το σχέδιο περιφερειακής ανάπτυξης της χώρας, προϋπόθεση για τη διάχυση της

ανάπτυξης, την υποστήριξη των προσβάσεων στη «Δυτική Αγορά» και την ένταξη της Περιφέρειας της Κεντρικής κυρίως Ελλάδας στα Διευρωπαϊκά Συστήματα. Επιπλέον θα συμβάλλει στην ολοκλήρωση του εθνικού δικτύου, στην άρση της απομόνωσης περιοχών και στην αύξηση της συνοχής του εθνικού χώρου, με τη σημαντική μείωση της χρονοαπόστασης μεταξύ των εξυπηρετούμενων περιοχών (*Παρασκευόπουλος* κ.ά. 2005).

Το υφιστάμενο σιδηροδρομικό δίκτυο, πρόκειται να αντικατασταθεί σύντομα από τη νέα γραμμή Μώλου-Ανθήλης-Λειανοκλαδίου-Δομοκού, με τη διάνοιξη σηράγγων στο Καλλίδρομο και στην Όθρυ. Το παλαιότερο τμήμα του, από Λιανοκλάδι έως Δομοκό, αποτελούταν από μονή γραμμή και διερχόταν από ορεινές περιοχές, με μεγάλες κλίσεις, κλειστές στροφές με προβλήματα κατολισθήσεων κλπ. Το συγκεκριμένο σιδηροδρομικό έργο παίρνει τη σκυτάλη από παλαιότερες σχετικές εργασίες και μετατρέπει τη μονή σιδηροδρομική γραμμή Τιθορέα-Λιανοκλάδι-Δομοκός σε διπλή γραμμή μήκους 106 χλμ. Το τμήμα αυτό αποτελεί μέρος του άξονα 22 (ΔΕΔ-Μ) και του σιδηροδρομικού άξονα Αθήνας-Θεσσαλονίκης (*http://ec.europa.eu*).

Για τις αρδευτικές ανάγκες της λεκάνης Ξυνιάδας δημιουργείται αυτή την περίοδο από την Αποκεντρωμένη Περιφέρεια Θεσσαλίας-Στερεάς Ελλάδας ταμιευτήρας στην περιοχή Μπουγαζίου. Από την υδρονομική διαχείριση του υδατοαποθέματος του χειμάρρου Μπουγαζίου, αναμένεται να καλυφτούν πλήρως οι συμπληρωματικές αρδευτικές ανάγκες 4.000 στρεμμάτων. Επισημαίνεται, ότι στο πυκνό στραγγιστικό δίκτυο γίνεται συντήρηση κάθε χρόνο από τους υπευθύνους του ΤΟΕΒ Ξυνιάδας, με διάνοιξη και καθαρισμό των τάφρων. Επιπλέον, η κεντρική αποστραγγιστική τάφρος κλείνει για αρδευτικές ανάγκες με πρόχειρα υλικά και χώμα, από Μάιο έως Σεπτέμβριο ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, ενώ σωληνώσεις διοχετεύουν το νερό κατάντη για την αποφυγή υπερχειλίσεων. Επιπρόσθετα, σε σχέση με τα ανωτέρω, βρίσκονται στο στάδιο αποπεράτωσής τους, εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων σε έκταση αρκετών στρεμμάτων στις περιοχές της Γόλιανης και του Ξεροβουνίου.

3.8 Επιπτώσεις στο εδαφικό και υδάτινο περιβάλλον

Στην περιοχή έρευνας τα εδάφη, τα επιφανειακά υδάτινα ρεύματα, όπως και οι υπόγειοι υδροφορείς, αποτελούν τον αποδέκτη των απορροών των γεωργικών εκτάσεων, εξαιτίας των καλλιεργητικών πρακτικών και των κτηνοτροφικών μονάδων και στάβλων. Επιπλέον, τα υγρά απόβλητα περιέχουν ουσίες ρυπαντικής και μολυσματικής φύσεως και η απ' ευθείας διάθεσή τους σε ένα φυσικό υδάτινο αποδέκτη εγκυμονεί κινδύνους για τον αποδέκτη, γενικά για τα έμβια όντα, κυρίως όμως για τον άνθρωπο.

Η ρύπανση των εδαφών και των νερών, ως αποτέλεσμα της διαχείρισης των υγρών και στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων, προκαλείται: α) από την απευθείας απορροή μετά την διάθεσή τους σε υπερβολικές ποσότητες στις καλλιέργειες, β) από τις διαρροές από τους χώρους αποθήκευσης των στερεών (κοπριά) αποβλήτων ή από διαρροές από την αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε μη στεγανές δεξαμενές και γ) από την εδαφική διάθεση υγρών αποβλήτων βουστασίων, χοιροστασίων, πτηνοκτηνοτροφείων για λίπανση, εξάτμιση, απορρόφηση και άρδευση.

Επιπρόσθετα, η έλλειψη επαρκούς αποχετευτικού δικτύου και η χρησιμοποίηση σηπτικών και αποχετευτικών βόθρων για τα λύματα του αστικού πληθυσμού, καθώς και τα βιομηχανικά απόβλητα, συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη ρύπανση της περιοχής. Τα αστικά λύματα περιέχουν κυρίως υπολείμματα τουαλέτας, απόνερα λουτρού και κουζίνας, απόνερα λάτρας και καθαριότητας κ.λ.π. Στα κυριότερα συστατικά τους περιλαμβάνονται οργανικές κυρίως ουσίες σε διάλυση ή αιωρούμενα σωματίδια, λίπη, έλαια, ανόργανες ουσίες και σε μικρότερες ποσότητες διαλυμένα αέρια, όπως η αμμωνία (NH_3) και το υδρόθειο (H_2S). Τα μερικώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων που δημιουργούνται κατά την παραγωγική διαδικασία

(*Νταρακάς* 2010), περιέχουν υπολείμματα των υλών που χρησιμοποιούνται και ρυπαίνουν το οροπέδιο, σε μικρότερο ή σε μεγαλύτερο βαθμό.

Στην περιοχή δραστηριοποιούνται εργαστήρια γαλακτοκομικών προϊόντων με την παραγωγή κυρίως του παραδοσιακού τυριού «κατίκι», καθώς και εργοστάσια επεξεργασίας ντομάτας. Οι κυριότερες βιομηχανικές μονάδες, ο βαθμός επεξεργασίας καθώς και οι αποδέκτες των αποβλήτων τους, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.9 (*http://www.fthiotidoscc.gr*, *ΕΣΥΕ* 2009).

Πίνακας 3.9. Κύριες βιομηχανικές μονάδες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή έρευνας.

Ονομασία	Κατάταξη κατά ΣΤΑΚΟΔ 2008	Δραστηριότητα	Τοπική Κοινότητα	Επεξεργασία υγρών αποβλήτων	Μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	Αποδέκτης υγρών αποβλήτων
ΑΦΕΣ Ι. ΓΑΛΑΝΗ Ο.Ε.	10.51-0	Παραγωγή τυροκομικών προϊόντων	Ξυνιάδας	Ναι	2ου βαθμού	Υπεδάφια
Δ.ΝΟΜΙΚΟΣ Α.Β.Ε.Κ. - ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ	10.39-1	Παραγωγή προϊόντων τομάτας	Παναγιάς	Ναι	2ου βαθμού	Υπεδάφια
Π.Γ. ΝΙΚΑΣ Α.Β.Ε.Ε.	10.51-0	Παραγωγή τυροκομικών προϊόντων	Περιβόλι	Ναι	2ου βαθμού	Υπεδάφια
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΒΑΣΙΑΣ Α.Ε.	10.39-1	Επεξεργασία αγροτικών προϊόντων-Παραγωγή τοματοπολτού-Συσκευασία	Παλαμά	Άγνωστο	-	-

4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

4.1 Γενικά

Η μελέτη των μορφών του γήινου ανάγλυφου συνίσταται στην περιγραφή τους και σε διάφορες μετρήσεις των πολυποίκιλων τύπων των γεωμορφών. Η χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (ΓΠΣ) τα τελευταία χρόνια, σε συνδυασμό με την τηλεπισκόπηση και τη χρησιμοποίηση των δορυφορικών εικόνων, παρέχουν μια πολύ δυναμική τεχνική επεξεργασίας και συνδυασμού των γεωμορφολογικών δεδομένων. Ο τελικός στόχος όλων αυτών είναι η διαπίστωση των μηχανισμών που επιδρούν στη διαμόρφωση του γήινου ανάγλυφου καθώς και η μελέτη της εξέλιξης τους (*Παυλόπουλος* 2003).

4.1.1 Δημιουργία θεματικών χαρτών

Για τη γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής έρευνας, τη συλλογή πληροφορίας και την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες χρησιμοποιώντας το λογισμικό ΓΠΣ ArcGIS 9.3 και τις δορυφορικές εικόνες Aster (*http://miliaresis.tripod.com*) της ελληνικής επικράτειας.

Για τη δημιουργία των θεματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκαν:

1) Τα φύλλα των τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, κλίμακας 1:50.000 (Κεφ. 3^{o}, πίνακας 3.1) από όπου δημιουργήθηκαν οι χάρτες υδρολογικών λεκανών της περιοχής έρευνας και του υδρογραφικού δικτύου, με ψηφιοποίηση όλων τα ποταμών και των ρεμάτων (μόνιμης και μη μόνιμης ροής) καθώς και των αρδευτικών-στραγγιστικών καναλιών.

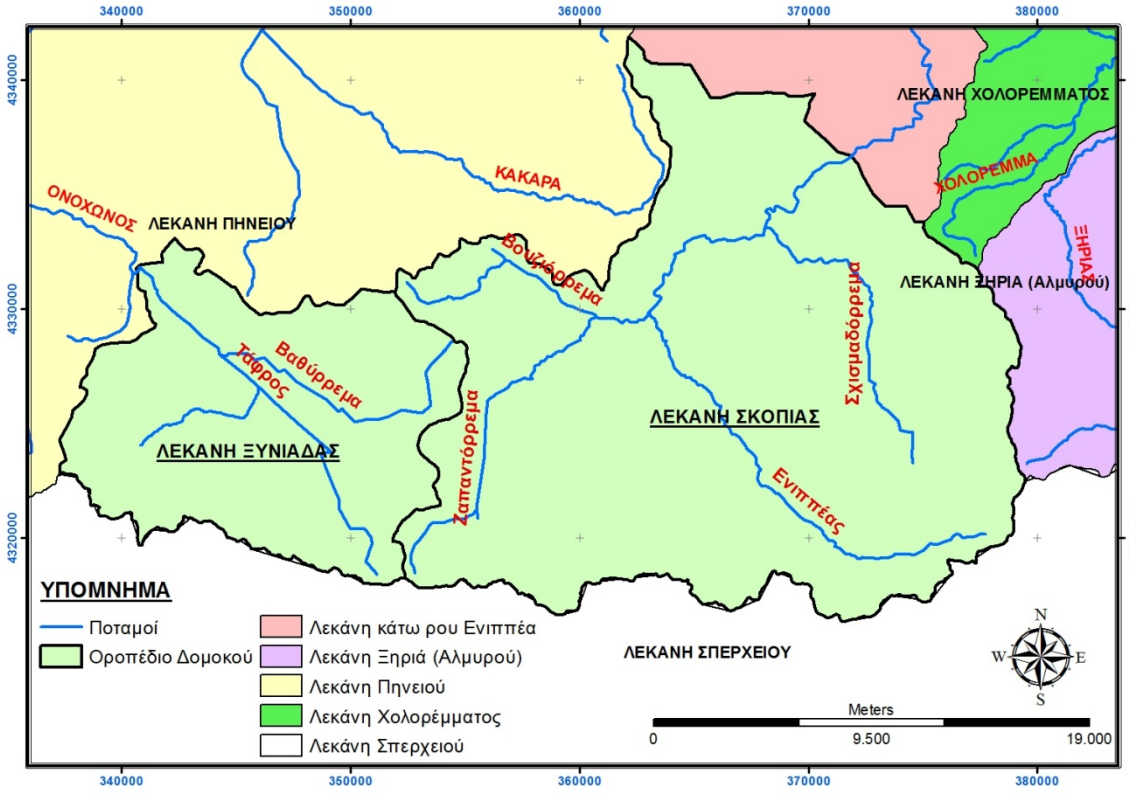
2) Το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (Digital elevation model - DEM) από τις δορυφορικές εικόνες χωρικής διακριτικής ικανότητας 25 m, το οποίο περιορίστηκε στην περιοχή έρευνας και από το οποίο κατασκευάστηκαν τα χωρικά μοντέλα: α) ο χάρτης διαβάθμισης υψομέτρου DEM, β) χάρτης ισοϋψών και σημείων υψομέτρου, γ) ο χάρτης κλίσεων (slope map), δ) ο χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων (aspect map) και ε) ο χάρτης υψομετρικών ζωνών.

Η χωρική διακριτική ικανότητα μιας εικόνας αφορά την ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων στα οποία οι διαστάσεις τους φαίνονται χωριστά και καθαρά και εξαρτάται από τη χωρική διακριτική ικανότητα του οργάνου καταγραφής. Επομένως η ακρίβεια του DEM και η απόκλισή του σε σχέση με το πεδίο, εξαρτώνται από τις διαστάσεις της ψηφίδας - χωρικής ανάλυσης του. Η αύξηση των διαστάσεων των ψηφίδων και κατά συνέπεια η ελάττωση της χωρικής ανάλυσης επιφέρει για παράδειγμα την υποεκτίμηση των τιμών των κλίσεων. Οφείλεται στην ομαλοποίηση (περιορισμός των λεπτομερειών) που υφίσταται το DEM με την ελάττωση της ανάλυσής του (*Φουμέλης και Βασιλάκης* 2004). Στην παρούσα διατριβή η επιλογή του DEM των 25 m μικραίνει την απόκλιση DEM και πεδίου. Εξάλλου η απόλυτη ακρίβεια είναι δύσκολο να επιτευχθεί (*Ψωμιάδης* 2010).

4.1.2 Γενικά μορφολογικά χαρακτηριστικά

Το οροπέδιο Δομοκού αποτελείται από τις υδρολογικές λεκάνες της Ξυνιάδας και του άνω ρου του Ενιππέα ποταμού ή αλλιώς λεκάνη Σκοπιάς. Η συνολική έκταση του είναι 606,69 km^2 και το συνολικό μήκος της περιμέτρου του είναι 146,72 km. Τα όρια της λεκάνης του οροπεδίου είναι προσδιορισμένα, στο ορεινό τμήμα του υδροκρίτη προς τις γειτονικές λεκάνες, οι οποίες είναι προς τα βόρεια και δυτικά η λεκάνη του Πηνειού και προς τα βόρεια η λεκάνη του κάτω ρου του Ενιππέα. Προς τα ανατολικά οι λεκάνες του Χολορέμματος και του Ξηριά Αλμυρού και προς τα νότια η λεκάνη του Σπερχειού ποταμού (Σχήμα 4.1).

Η λεκάνη της Ξυνιάδας αποτελεί τη λεκάνη απορροής της κεντρικής αποστραγγιστικής



Σχήμα 4.1. Τα προσδιορισμένα προς τις γειτονικές λεκάνες όρια του υδροκρίτη της λεκάνης του οροπεδίου Δομοκού.

τάφρου της πρώην λίμνης Ξυνιάδος, με συνολική έκταση 167,90 km^2 και 66,19 km περίμετρο. Τα νερά της αποστραγγιστικής τάφρου διοχετεύονται στον Ονόχωνο (γνωστός και ως Πενδάμης, Κουμαρόρεμα ή Πενταμύλης). Τροφοδοτεί μαζί με τον Ρεντινιώτη τον ταμιευτήρα της λίμνης Σμοκόβου, από την οποία σχηματίζεται ο ποταμός Σοφαδίτης, ο οποίος μέσω του Ενιππέα καταλήγει στον Πηνειό (Σχήμα 4.1).

Γεωμορφολογικά, η ευρύτερη περιοχή αποτελείται από ένα επίμηκες πεδινό τμήμα, αρκετά ομαλό, περικλειόμενο από παρυφές μικρής σχετικά έκτασης, πλην του νοτιοδυτικού τμήματος. Προς Β δεσπόζει η ορεινή ασβεστολιθική μάζα του Ξεροβουνίου (977 m), ΒΔ το γυμνό ύψωμα Δολίνες (625 m), ενώ προς Α η περιοχή είναι αρκετά πεδινή, με ένα μικρό έξαρμα και μια μικρή ράχη να καθορίζουν τον υδροκρίτη. Προς Ν κυριαρχεί η κεντρική κορυφογραμμή της Όθρυος με έντονη διαβρωσιγενή όψη και τέλος προς ΝΔ και Δ μια σειρά από λόφους διαμορφώνουν ένα πολύπλοκο αλλά όχι ιδιαίτερα έντονο ανάγλυφο.

Μεγάλο τμήμα του πεδινού τμήματος της περιοχής (34 km^2) καλύπτονταν παλαιότερα από τα νερά της πρώην λίμνης Ξυνιάδος. Μετά την αποξήρανση παραδόθηκαν για καλλιέργεια περίπου 36.000 στρ. και η επέμβαση του ανθρώπου μετέβαλλε την περιοχή από υδρογεωλογική και υδρολογική κλειστή λεκάνη, σε υπολεκάνη του Πηνειού ποταμού (*Σούλιος* 1975).

Η λεκάνη Σκοπιάς αποτελεί τη λεκάνη απορροής του άνω ρου του Ενιππέα ποταμού, συνολικής εκτάσεως 438,79 km^2 και περιμέτρου 116,06 km. Ο Ενιππέας είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος παραπόταμος του Πηνειού ποταμού και έχει συνολικό μήκος που ξεπερνά τα 280 km. Πηγάζει από τους ορεινούς όγκους της Όθρυος και των βουνών της Ανάβρας (Γούρας), διασχίζει τις λοφοσειρές του Ναρθακίου (Κασιδιάρη) και συνεχίζει προς την πεδιάδα της Θεσσαλίας, όπου συμβάλλει με τον Πηνειό. Η λεκάνη που οριοθετείται από τις πηγές του ποταμού έως την τοπική κοινότητα της Σκοπιάς αποτελεί τη λεκάνη του άνω ρου του Ενιππέα ποταμού ή λεκάνη Σκοπιάς (Σχήμα 4.1).

Γεωμορφολογικά η λεκάνη αυτή αποτελείται από ένα αγχιπεδινό κεντρικό και βόρειο τμήμα, που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της, και μικρά εδαφικά εξάρματα προς Β και Δ. Οριοθετείται προς Ν από τις υψηλές κεντρικές κορυφές της Όθρυος, προς Α από τις κορυφογραμμές της Ανάβρας (1.633 m) και προς Β από τις παρυφές του Κασιδιάρη (1.011 m). Προς Δ από ένα σχεδόν ανεπαίσθητο έξαρμα στη «Μαγούλα Μεταλλείων» με το οποίο διαχωρίζεται από τη λεκάνη Ξυνιάδας.

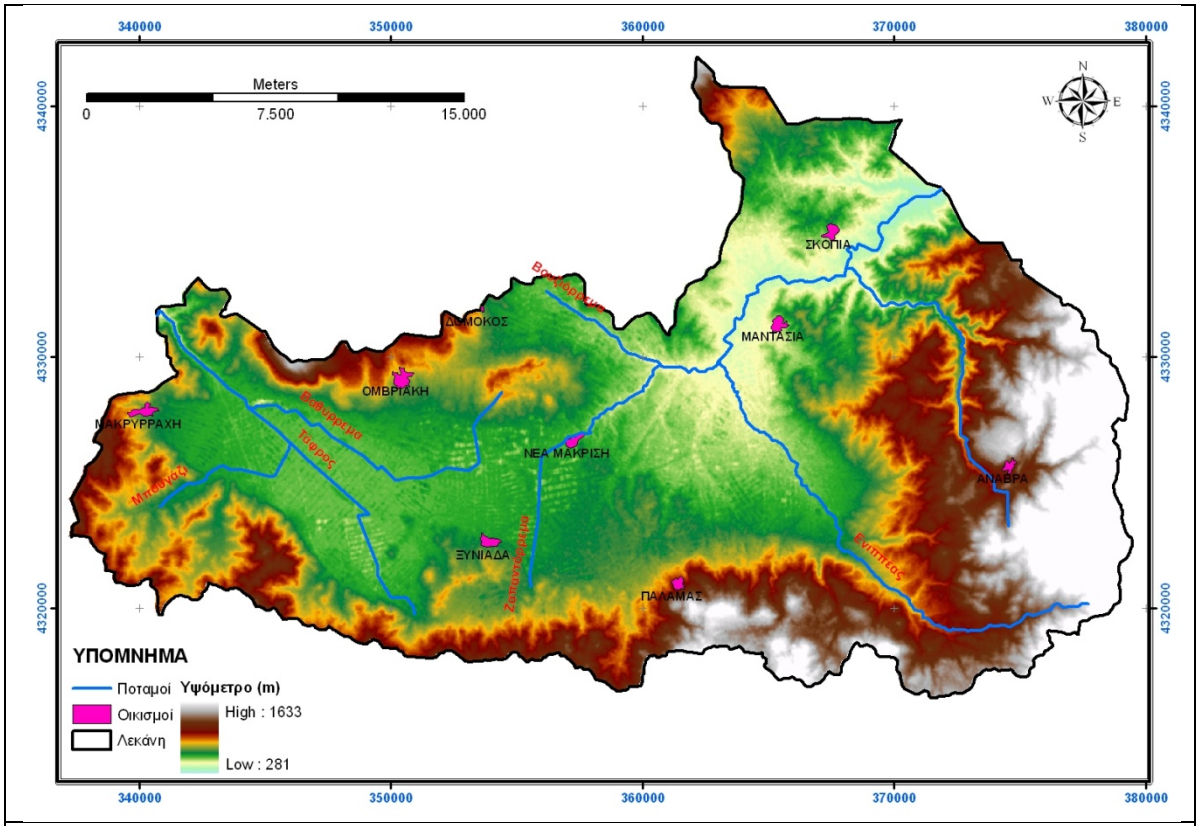
4.2 Το ανάγλυφο

4.2.1 Ισοϋψείς και σημεία υψομέτρου

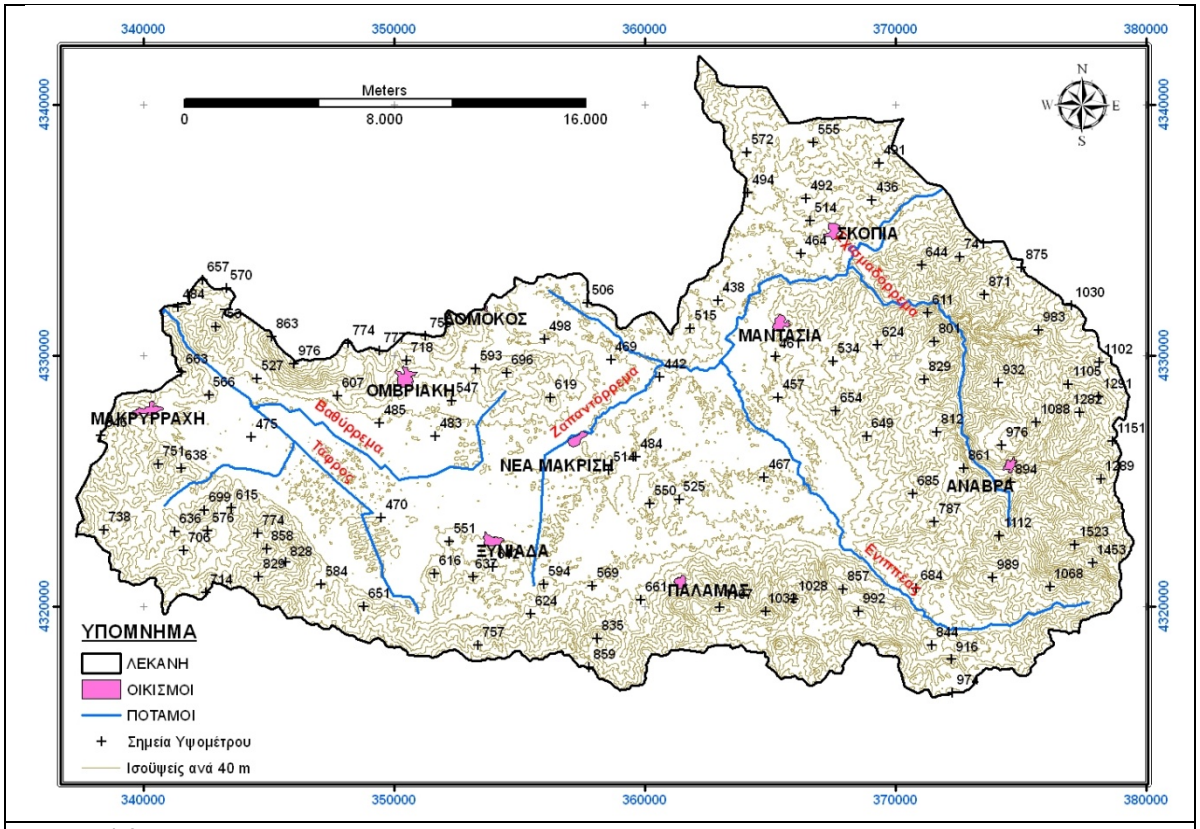
Τα γεωμορφολογικά στοιχεία όπως οι ακτές, οι χερσόνησοι, οι κόλποι, τα βουνά, οι κοιλάδες, οι χαράδρες, οι πεδιάδες και τα ποτάμια, εκφραζόμενα με διαφορετικά σχήματα και μορφές, αποτελούν στο σύνολό τους το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας. Αυτονόητο είναι λοιπόν, ότι η μελέτη και η επεξεργασία του ανάγλυφου συμβάλλει στην εξαγωγή πληροφοριών που αφορούν τη γεωμορφολογία, την τοπογραφία και τη χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας. Σε αυτόν το τομέα, σημαντική θέση κατέχουν τα τελευταία χρόνια τα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου, τα οποία αποτελούν μια πολύ σημαντική παράμετρο στις γεωμορφολογικές μελέτες. Περιγράφουν τη γεωμετρική διαβάθμιση της γήινης επιφάνειας, αποτελώντας μια ψηφιακή αναπαράσταση του γήινου ανάγλυφου.

Στην παρούσα διατριβή, για τη μελέτη του υψομέτρου και την καλύτερη απεικόνιση των ισοϋψών καμπυλών και υψομέτρων, χρησιμοποιήθηκε το DEM αρχείο της περιοχής έρευνας από τις δορυφορικές εικόνες Aster και δημιουργήθηκε η διαβάθμιση του υψομέτρου (Σχήμα 4.2). Με το εργαλείο Spatial Analyst του ArcGIS πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ισοϋψών καμπυλών, των οποίων η ισοδιάσταση καθορίστηκε 40 m (για μεγαλύτερη ευκρίνεια και καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα), και ψηφιοποιήθηκαν τα σημεία υψομέτρου με βάση τα υψόμετρα των τοπογραφικών χαρτών (Σχήμα 4.3).

Διαπιστώθηκε ότι το χαμηλότερο και υψηλότερο σημείο του οροπεδίου απαντώνται στην



Σχήμα 4.2. Διαβάθμιση υψομέτρου όπως προέκυψε από το DEM αρχείο της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 4.3. Χάρτης ισοϋψών και σημείων υψομέτρου της περιοχής έρευνας.

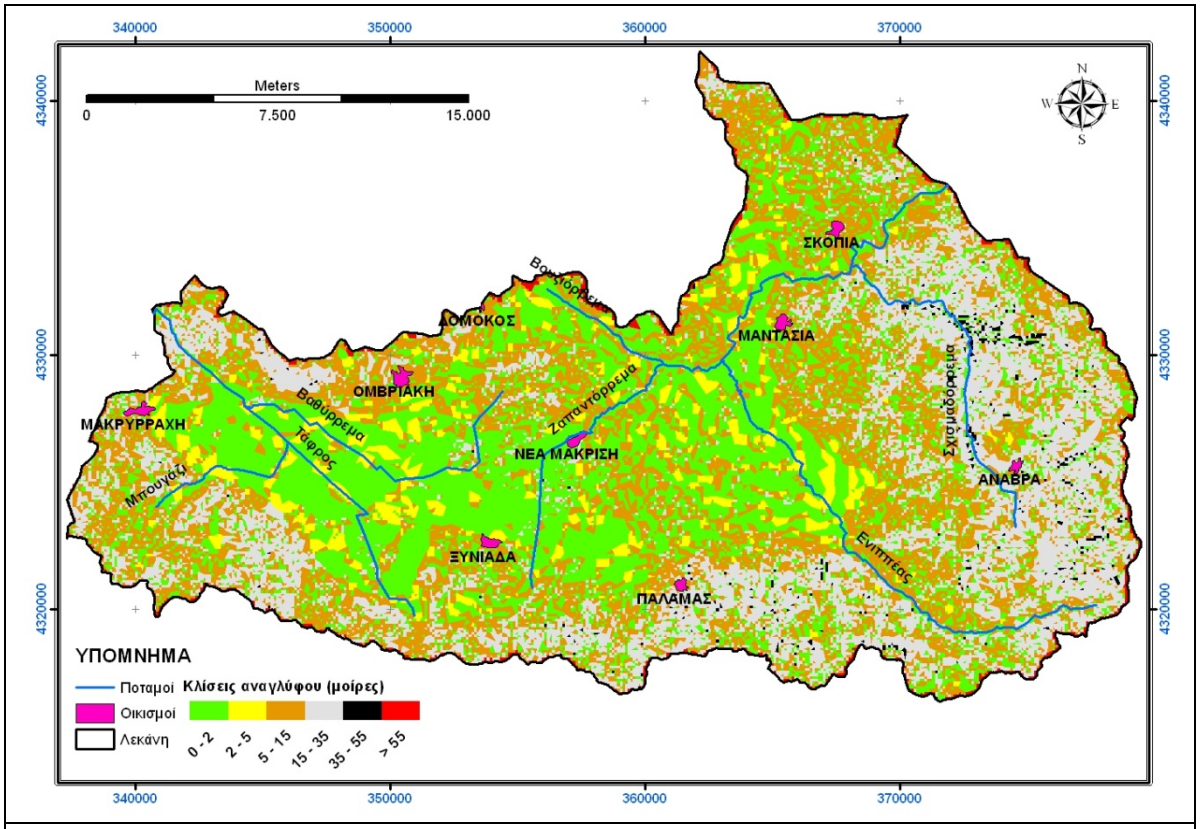
λεκάνη της Σκοπιάς και είναι 281 m στην έξοδο της λεκάνης και 1.633 m στα ορεινά της Ανάβρας στην Όθρυ αντίστοιχα, με μέσο υπολογισμένο υψόμετρο 609 m. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης Σκοπιάς διαφοροποιείται από εκείνο του οροπεδίου και ανέρχεται στα 629 m. Στη λεκάνη Ξυνιάδας το μέγιστο υψόμετρο είναι 977 m, στην ορεινή ασβεστολιθική μάζα του Ξεροβουνίου και το χαμηλότερο 384 m στην έξοδο της λεκάνης, ενώ το μέσο υπολογισμένο υψόμετρο ανέρχεται στα 540 m.

4.2.2 Μορφολογικές κλίσεις

Οι κλίσεις του ανάγλυφου αποτελούν ένα από τα κυριότερα μορφολογικά στοιχεία μιας περιοχής. Επιπλέον είναι τμήματα του συστήματος απορροής και επειδή μέσω αυτών τροφοδοτείται το υδρογραφικό δίκτυο και η μελέτη της γεωμορφολογίας τους, καθώς και των ρυθμών διάβρωσής τους, έχουν μεγάλη πρακτική σημασία (*Παυλόπουλος* 2003). Σαν κλίση του εδάφους ορίζεται ο λόγος μεταξύ της κατακόρυφης αλλαγής του υψομέτρου ως προς την οριζόντια απόσταση. Μπορεί να υπολογιστεί από τους χάρτες των ισοϋψών, από την εφαπτόμενη της γωνίας της επιφάνειας, ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η κλίση μπορεί να μετρηθεί είτε σε μοίρες (από 0^0 έως 90^0) είτε σε ποσοστό επί τοις εκατό. Η αντιστοιχία για κλίση 0^0 είναι 0% ενώ για κλίση 45^0 είναι 100% (*ESRI* 2008).

Για τη δημιουργία του χάρτη κλίσεων (slope map) σε μοίρες χρησιμοποιήθηκε το DEM αρχείο, από το οποίο πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ισοϋψών καμπυλών, των οποίων η ισοδιάσταση καθορίστηκε 20 m για λεπτομερέστερη απεικόνιση του ανάγλυφου. Στη συνέχεια και μέσω του 3D Analyst δημιουργήθηκε ένα αρχείο τριγωνικού δικτύου TIN. Στο αρχείο αυτό, μέσω του 3D Analyst και σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται από τους *Κουτσόπουλο* και *Ανδρουλακάκη* (2005), δημιουργήθηκαν σε τελική μορφή τα πολύγωνα των κλίσεων (Slope) του εδάφους σε μοίρες. Η ταξινόμηση των κλίσεων του ανάγλυφου βασίστηκε στην ομαδοποίηση των κλίσεων και έγινε σε έξι κλάσεις, σύμφωνα με την ταξινόμηση της Επιτροπής Γεωμορφολογικής έρευνας και Χαρτογράφησης της διεθνούς Γεωγραφικής Ένωσης (IGU-International Geographic Union) (*Demek* 1972 από

Μούρτζιος 2008) (Σχήμα 4.4, Πίνακας 4.1).



Σχήμα 4.4. Χάρτης κλίσεων ανάγλυφου σε μοίρες της περιοχής έρευνας.

Πίνακας 4.1. Ταξινόμηση ανάγλυφου ανάλογα με την κλίση του σε μοίρες (*Demek* 1972).

Κλίσεις Ανάγλυφου (σε μοίρες)	Χαρακτηρισμός
0^0-2^0	Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο
2^0-5^0	Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο
5^0-15^0	Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο
15^0-35^0	Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο
35^0-55^0	Απόκρημνο ανάγλυφο
$>55^0$	Κάθετο ανάγλυφο

Από το χάρτη των κλίσεων και με τη βοήθεια του πρόσθετου εργαλείου του ArcGis, XTools υπολογίστηκαν τα εμβαδά (km^2) και το ποσοστό (%) για κάθε ομάδα των κλίσεων του ανάγλυφου (Πίνακας 4.2). Διαπιστώθηκε ότι η ελάχιστη και η μέγιστη κλίση είναι 0^0 και $89{,}43^0$ αντίστοιχα, ενώ η μέση κλίση του οροπεδίου είναι $10{,}23^0$ και ότι κατά *Demek* (1972) (Σχήμα 4.4):

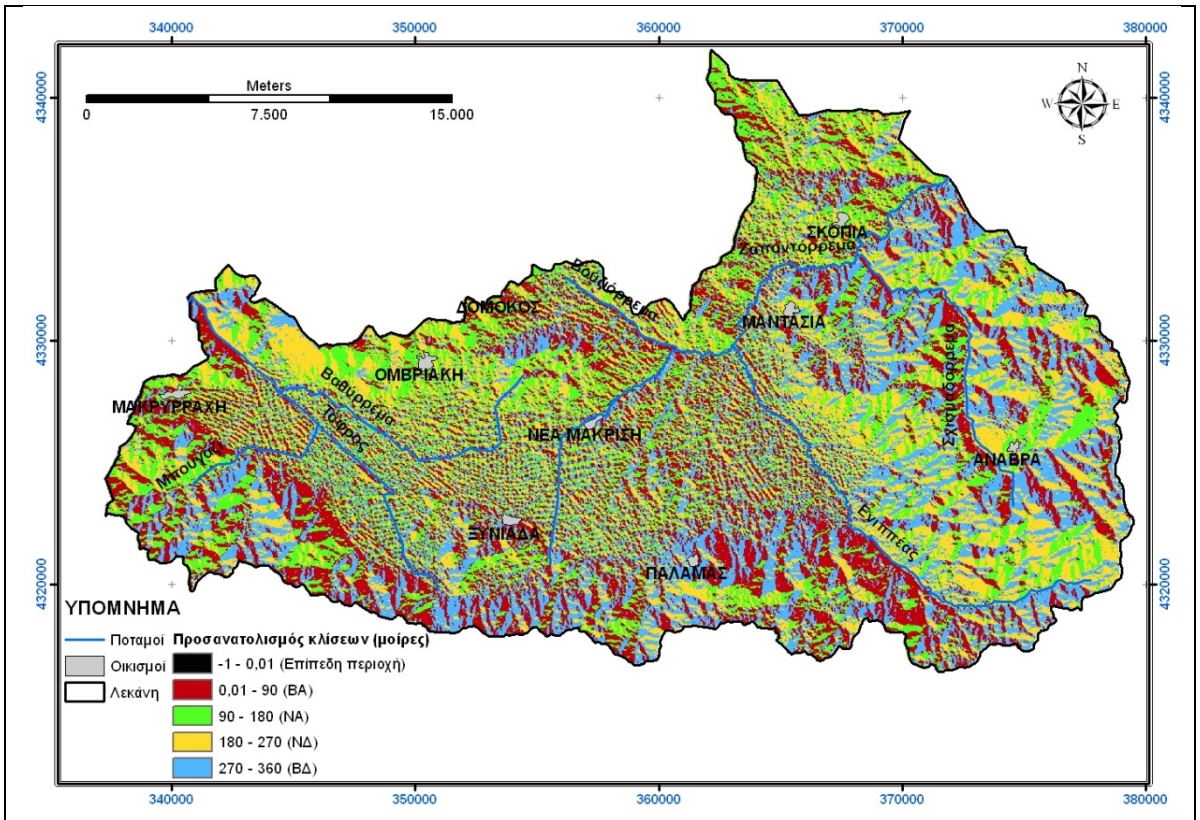
- Το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης του οροπεδίου (33,95%) χαρακτηρίζεται από κλίσεις 0^0-2^0 και σε συνδυασμό με ποσοστό (5,55%) κλίσεων 2^0-5^0 αντιπροσωπεύουν επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Οι τιμές αυτές παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα του οροπεδίου και στις καλλιεργούμενες περιοχές. Αντιστοιχούν σε πλημμυρικά πεδία, επιφάνειες επιπέδωσης και αναβαθμίδες, ενώ έχει ξεκινήσει η διάβρωση τύπου καλύμματος και η αυλακωτή διάβρωση. Προτείνονται μέτρα προστασίας από τη διάβρωση και η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς στις περιοχές με κλίση 2^0-5^0.
- Το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης του οροπεδίου (32,99%) αντιστοιχεί σε κλίσεις 5^0-15^0 και αντιπροσωπεύουν ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο, που χαρακτηρίζεται από έντονες διεργασίες αυλακωτής διάβρωσης. Οι τιμές αυτές

παρατηρούνται γύρω από τα όρια των καλλιεργούμενων περιοχών και οι ανθρώπινες δραστηριότητες συναντούν δυσκολίες σε αυτές τις περιοχές.

- Ποσοστό 25,24% της έκτασης του οροπεδίου χαρακτηρίζεται από κλίσεις 15^0-35^0, που αντιπροσωπεύουν ανάγλυφο απότομο έως εξαιρετικά απότομο και απαντώνται στα περιθώρια του οροπεδίου και στις ορεινές περιοχές. Στις περιοχές αυτές είναι έντονες οι διεργασίες διάβρωσης και απογύμνωσης και είναι αδύνατη η καλλιέργεια.
- Ποσοστά 3,65% και 10,15% της έκτασης του οροπεδίου χαρακτηρίζονται από κλίσεις 35^0-55^0 και $>55^0$ αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αντιπροσωπεύουν απόκρημνο και κάθετο με έντονη απογύμνωση ανάγλυφο, με ισχυρότατη έκθεση στους παράγοντες της διάβρωσης και της βαρύτητας. Το ανάγλυφο αυτό απαντάται στα υψηλά ορεινά σημεία του οροπεδίου και στα όρια του υδροκρίτη.

Πίνακας 4.2. Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης των κλίσεων.

Κλίσεις Ανάγλυφου (σε μοίρες)	Επιφάνεια (km^2)	Ποσοστό (%)
0^0-2^0	205,98	33,95
2^0-5^0	33,65	5,55
5^0-15^0	200,14	32,99
15^0-35^0	153,12	25,24
35^0-55^0	3,65	0,6
$>55^0$	10,15	1,67



Σχήμα 4.5. Χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων (slope aspect map) του οροπεδίου Δομοκού.

4.2.3 Προσανατολισμός κλίσεων

Η έννοια του προσανατολισμού εκφρασμένη μαθηματικά είναι ο υπολογισμός του οριζόντιου στοιχείου του διανύσματος που είναι κάθετο στην επιφάνεια. Ο προσανατολισμός είναι ταξινομημένος με τέτοιο τρόπο ώστε το παραγόμενο επίπεδο πληροφοριών να μην είναι συνεχές αλλά αριθμητικό. Οι χάρτες προσανατολισμού των κλίσεων έχουν εννέα κλάσεις, μία για κάθε μία από τις κύριες διευθύνσεις της πυξίδας,

δηλαδή Β, ΒΑ, Α, ΝΑ, Ν, ΝΔ, Δ, ΒΔ και μια για επίπεδο ανάγλυφο (*Burrough* 1996). Ο προσανατολισμός στους χάρτες του ArcGis προσδιορίζει τη διεύθυνση της μεγαλύτερης κλίσης κάθε κυττάρου σε σχέση με τα οκτώ γειτονικά του. Οι τιμές στον υπολογισμένο κάνναβο συνήθως κυμαίνονται από 0-360 (διεύθυνση σε μοίρες) (*ESRI* 2008).

Ο χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων (slope aspect map) δημιουργήθηκε από το DEM με τη βοήθεια του εργαλείου Spatial Analyst (Σχήμα 4.5). Επιπλέον πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση του χάρτη προσανατολισμού των κλίσεων με ομαδοποίηση των προσανατολισμών, ώστε να μπορεί να μελετηθεί ευκολότερα λόγω του μικρότερου αριθμού των κλάσεων και για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα. Δημιουργήθηκαν 5 κλάσεις ταξινόμησης (Επίπεδη περιοχή 0^o, ΒΑ 0,01-90^o, ΝΑ 90-180^o, ΝΔ 180-270^o, ΒΔ 270-$359{,}99^o$) και υπολογίστηκε η έκταση (km^2) και το ποσοστό (%) που καλύπτει κάθε κλάση προσανατολισμού των κλίσεων στην περιοχή έρευνας (Πίνακας 4.3).

Διαπιστώνεται, ότι οι βόρειοι προσανατολισμοί καλύπτουν το 52,46% της λεκάνης του οροπεδίου, ενώ ο ΒΔ προσανατολισμός αποτελεί με 26,92% την κυρίαρχη κλάση.

Πίνακας 4.3. Έκταση και ποσοστό των κλάσεων ταξινόμησης προσανατολισμού των κλίσεων.

Προσανατολισμός κλίσεων	Επιφάνεια (km^2)	Ποσοστό (%)
Επίπεδη περιοχή	4,83	0,80
ΒΑ	154,98	25,55
ΝΑ	133,06	21,93
ΝΔ	150,51	24,81
ΒΔ	163,31	26,92

4.2.4 Υψομετρικές ζώνες

Για το χαρακτηρισμό του ανάγλυφου πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση και ταξινόμηση των υψομέτρων κατά ζώνες με τη μέθοδο Dikau (*Dikau* 1989 από *Μούρτζιος* 2008), η οποία χαρακτηρίζει μια περιοχή ανάλογα με το υψόμετρο που παρουσιάζει πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (Πίνακας 4.4).

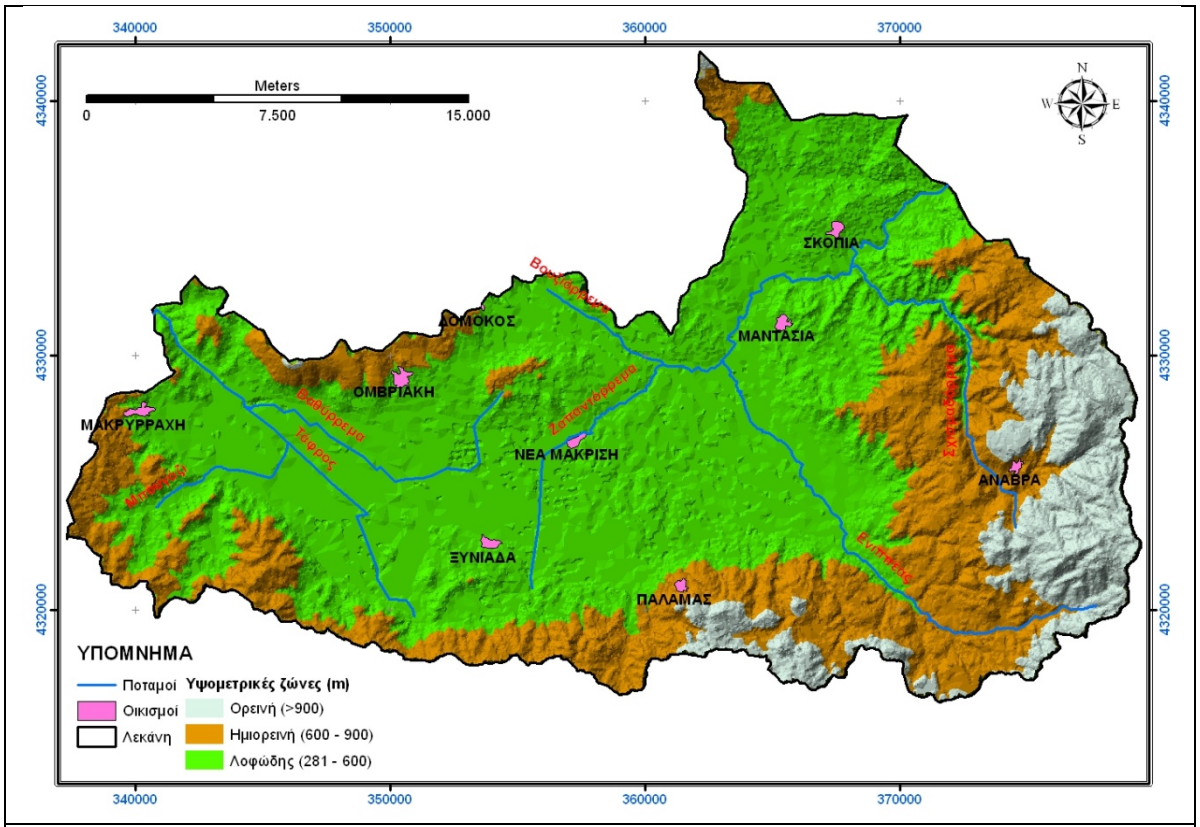
Πίνακας 4.4. Ταξινόμηση ανάγλυφου κατά *Dikau* (1989).

Ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας (m)	Χαρακτηρισμός περιοχής
<150	Πεδινή
150-600	Λοφώδης
600-900	Ημιορεινή
>900	Ορεινή

Από το αρχείο τριγωνικού δικτύου TIN σε συνδυασμό με τον πίνακα 4.4 δημιουργήθηκαν τρείς υψομετρικές ζώνες, καθώς δεν υπάρχει πεδινή περιοχή στο οροπέδιο Δομοκού, δεδομένου ότι το χαμηλότερο υψόμετρο ανέρχεται στα 281 m. Επιπλέον έγινε υπολογισμός των εμβαδών (km^2) και των ποσοστών (%) για κάθε υψομετρική ζώνη (Σχήμα 4.6) (Πίνακας 4.5).

Διαπιστώνεται ότι στη συντριπτική του πλειοψηφία το ανάγλυφο στη λεκάνη του οροπεδίου χαρακτηρίζεται λοφώδες (61,56%). Οι περιοχές αυτές παρατηρούνται σε όλη την έκταση των τεταρτογενών αποθέσεων και σε μεγάλη έκταση από τους σχηματισμούς των νεογενών, του φλύσχη, των σχιστοκερατόλιθων και των οφιόλιθων και περιλαμβάνει όλες τις καλλιεργήσιμες περιοχές. Το ημιορεινό (27,74%) έως ορεινό (10,7%) ανάγλυφο, απαντάται κύρια στο ανατολικό και νότιο κομμάτι του οροπεδίου στους ορεινούς όγκους της

Όθρυος και στο σύνολο των ανθρακικών σχηματισμών στην περιοχή αυτή, όπως και στα βόρεια περιθώρια του οροπεδίου.



Σχήμα 4.6. Χάρτης υψομετρικών ζωνών της περιοχής έρευνας.

Πίνακας 4.5. Έκταση και ποσοστό των υψομετρικών ζωνών του οροπεδίου Δομοκού.

Ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας (m)	Χαρακτηρισμός περιοχής	Επιφάνεια (km^2)	Ποσοστό (%)
281-600	Λοφώδης	373,46	61,56
600-900	Ημιορεινή	168,29	27,74
>900	Ορεινή	64,94	10,7

4.3 Υδρογραφικό δίκτυο

4.3.1 Γενικά

Το σύνολο των ρυακιών, των ποταμών και των ρεμάτων (μόνιμης και μη μόνιμης ροής), τα οποία διαρρέουν και αποστραγγίζουν μια λεκάνη, αποτελούν το υδρογραφικό δίκτυο αυτής. Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου μιας λεκάνης εξαρτάται: α) από τη λιθολογική της σύσταση που έχει άμεση επίδραση στην περατότητα των πρανών της, β) από το μορφολογικό της ανάγλυφο, γ) τη βροχόπτωση και δ) την εποχική της κατανομή. Επιπλέον, το υδρογραφικό δίκτυο αποτελεί τον κύριο παράγοντα διαμόρφωσης του ανάγλυφου των λεκανών και είναι ο βασικός μεταφορέας των υλικών διάβρωσης και αποσάθρωσης των πετρωμάτων τους.

Τα πιο εμφανή μορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου αποτελούν η πυκνότητα, το σχήμα και η κατανομή των επιμέρους κλάδων του. Η μελέτη τους είναι χρήσιμη διότι βοηθά στην κατανόηση και στη συλλογή δεδομένων για γεωμορφολογικούς, γεωλογικούς και εδαφολογικούς σκοπούς (*Παυλόπουλος* 2003). Επιπλέον, η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου συμβάλλει στην πρόβλεψη της εξέλιξης και της υδρολογικής

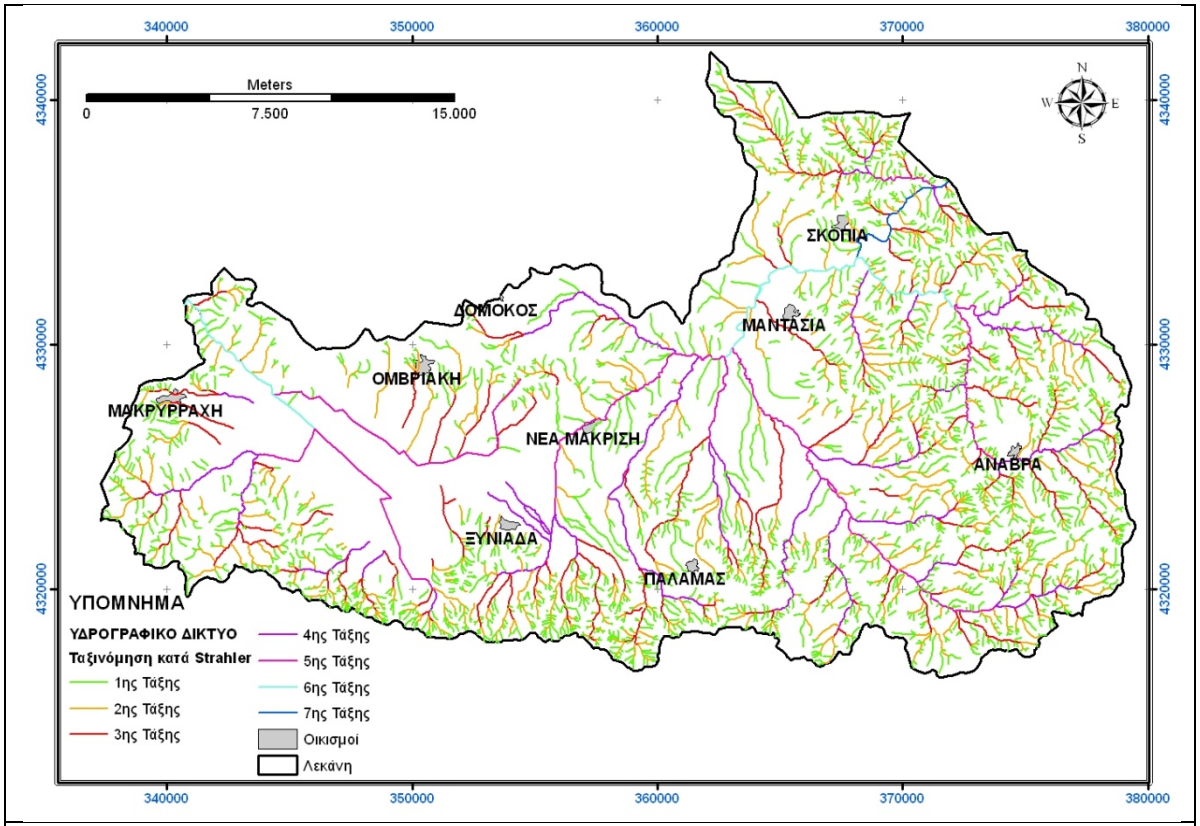
συμπεριφοράς των υδρογραφικών δικτύων καθώς και στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (*Παράσχου και Βουβαλίδης* 2006).

Οι μορφομετρικές παράμετροι των υδρογραφικών συστημάτων διακρίνονται σε υπολογιζόμενες και μετρούμενες και γενικότερα χωρίζονται σε: α) μορφομετρικές παραμέτρους των υδρογραφικών δικτύων και β) σε μορφομετρικές παραμέτρους των λεκανών απορροής.

4.3.2 Μορφομετρικές παράμετροι υδρογραφικού δικτύου

Οι υπολογιζόμενες παράμετροι του υδρογραφικού δικτύου είναι: α) η τάξη των κλάδων (u), β) ο αριθμός των κλάδων (Nu), γ) η υδρογραφική πυκνότητα (drainage density) (D) σε km^{-1} και η δ) υδρογραφική συχνότητα (Stream frequency) (F) σε $N \cdot km^{-2}$. Οι μετρούμενες παράμετροι είναι το μήκος των κλάδων (Lu) κάθε τάξης και το συνολικό μήκος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (ΣLu). Για τον προσδιορισμό των ανωτέρω παραμέτρων, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έρευνας, με ιεράρχηση των υδατορεμάτων σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης *Strahler* (1952, 1954,1957,1964). Το σύστημα αυτό αποτελεί τροποποίηση του προϋπάρχοντος συστήματος ταξινόμησης του *Horton* (1945) (Σχήμα 4.7).

Σύμφωνα με την κατά Strahler ταξινόμηση, οι κλάδοι χωρίς ανάντη συμβολές ονομάζονται $1^{ης}$ τάξης. Όταν συμβάλλουν δύο κλάδοι με την ίδια τάξη i, στον αμέσως κατάντη κλάδο αποδίδεται τάξη i+1. Στην περίπτωση όμως που συμβάλλουν κλάδοι με διαφορετικές τάξεις, ο κατάντη κλάδος διατηρεί τη μεγαλύτερη από τις δυο τάξεις των ανάντη κλάδων. Η ταξινόμηση κατά Strahler του υδρογραφικού δικτύου του οροπεδίου Δομοκού, έδειξε ότι αυτό φτάνει σαν $7^{ης}$ τάξης στην έξοδο της λεκάνης Σκοπιάς. Αναλυτικότερα, οι αριθμοί και τα μήκη ανά τάξη ρεμάτων απεικονίζονται στον πίνακα 4.6 που ακολουθεί. Διαπιστώνεται ότι ο συνολικός αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι (ΣNu) 2.842 και το συνολικό μήκος τους (ΣLu) είναι 1.594,2 km.



Σχήμα 4.7. Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο του οροπεδίου Δομοκού.

4.3.3 Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης οροπεδίου Δομοκού

Οι μετρούμενες μορφομετρικές παράμετροι των λεκανών απορροής είναι: α) το εμβαδό της λεκάνης (A) σε km^2, β) η περίμετρος της λεκάνης (P), γ) το μέγιστο μήκος της λεκάνης (Lbmax) σε km, δ) το μέγιστο πλάτος της λεκάνης (Br), ε) το μέγιστο ολικό ανάγλυφο της λεκάνης (H), στ) το μέσο υψόμετρο (Hmean) και ζ) η μέση κλίση της λεκάνης. Από τις υπολογιζόμενες παραμέτρους οι σημαντικότερες είναι: α) συντελεστής ανάγλυφου (Relief ratio) Rh, β) δείκτης κυκλικότητας (Cu), γ) Δείκτης Επιμήκυνσης (elongation ratio) (Er) και δ) το υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hi).

Πίνακας 4.6. Η τάξη ρεμάτων και τα μήκη αυτών του υδρογραφικού δικτύου του οροπεδίου Δομοκού.

Τάξη κλάδων (u)	Αριθμός κλάδων(Nu)	Μήκος κλάδων (Lu) (km)
$1^{ης}$	2063	787,3
$2^{ης}$	590	380,1
$3^{ης}$	146	203,6
$4^{ης}$	30	116,4
$5^{ης}$	9	77,1
$6^{ης}$	3	23,0
$7^{ης}$	1	6,7

Πίνακας 4.7. Βασικές μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης οροπεδίου Δομοκού.

Παράμετρος	Υπολογισμός	Μονάδες	Αναφορά	Περιγραφή
Υδρολογική Λεκάνη				
Εμβαδόν (A)	Μετρήθηκε	km^2	-	Το συνολικό εμβαδό της λεκάνης απορροής
Περίμετρος (P)	Μετρήθηκε	km	-	Το μήκος του υδροκρίτης που περικλείει την επιφάνεια της λεκάνης απορροής
Μήκος (Lb)	Μετρήθηκε	km	Apollov 1963	Η ευθεία γραμμή από την έξοδο της λεκάνης μέχρι το πιο απομακρυσμένο σημείο της
Πλάτος (Br)	Br = A/Lb	km	-	Ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης προς μήκος της λεκάνης
Μέγιστο υψόμετρο (Hmax)	Υπολογίστηκε	m	-	Υπολογίζεται από το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο
Ελάχιστο υψόμετρο (Hmin)	Υπολογίστηκε	m	-	Υπολογίζεται από το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο
Ολικό ανάγλυφο (Basin relief)	H=Hmax –Hmin	m	Strahler 1952	Η υψομετρική διαφορά του υψηλότερου σημείου της λεκάνης, όπως αυτό καθορίζεται από τον υδροκρίτη της και του στομίου (σημείου εξόδου)
Μέσο υψόμετρο (Hmean)	Υπολογίστηκε	m	-	Υπολογίζεται από το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	Μοίρες	Gregory & Walling 1973	Ο λόγος του συνολικού μήκους των ισοϋψών καμπυλών, επί την ισοδιάσταση προς το εμβαδό της λεκάνης
Συντελεστής ανάγλυφου (Relief ratio)	RH = H/ Lb	%	Schumm 1956	Ο λόγος του ολικού ανάγλυφου προς την οριζόντια απόσταση κατά μήκος της μεγαλύτερης διάστασης της λεκάνης, παράλληλη με την κύρια υδρογραφική γραμμή
Δείκτης κυκλικότητας (Circularity ratio)	$Rc = 4\pi A/P^2$	-	Miller 1953	Ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης προς το λόγο του εμβαδού του κύκλου που έχει περίμετρο ίση με την περίμετρο της λεκάνης. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0 έως 1, με την τιμή 1 να αντιστοιχεί σε λεκάνη μορφής τέλειου κύκλου

Δείκτης Επιμήκυνσης (Elongation ratio)	Re = 1,129(A)^{0,5}/ Lb	-	Schumm 1956	Ο λόγος της διαμέτρου κύκλου που έχει εμβαδό ίσο με αυτό της λεκάνης προς το μήκος αυτής
Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral)	Hi= Hmean – Hmin / Hmax – Hmin	%	Strahler 1952	Το εμβαδό της επιφάνειας κάτω από την υψομετρική καμπύλη και υπολογίζεται από το λόγο της διαφοράς μέσου με ελαχίστου υψομέτρου προς το ολικό ανάγλυφο (Keller & Pinter 2002)
Υδρογραφικό Δίκτυο				
Συνολικός αριθμός κλάδων (Nu)	Υπολογίστηκε	-	-	Συνολικός αριθμός κλάδων του υδρογραφικού δικτύου
Συνολικό μήκος ρεμάτων (ΣLu)	Μετρήθηκε	km	-	Άθροισμα του συνολικού μήκους των ρεμάτων του υδρογραφικού δικτύου
Υδρογραφική Πυκνότητα (Drainage density)	D= ΣL(u)/Au	Km/km^2	Horton 1932, 1945	Εκφράζει το συνολικό μήκος των ρεμάτων ανά μονάδα επιφάνειας. Εξαρτάται από το κλίμα, τις γεωλογικές συνθήκες, τον εδαφικό μανδύα και την φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής
Υδρογραφική Συχνότητα (Stream frequency)	F= ΣN(u)/Au	n/Km^2	Horton 1932, 1945	Εκφράζει τον αριθμό των ρεμάτων ανά μονάδα επιφάνειας.

Στον πίνακα 4.7 παρουσιάζονται οι βασικές μορφομετρικές παράμετροι της λεκάνης του οροπεδίου που προαναφέρθηκαν, ο μαθηματικός τύπος, καθώς και οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό τους, ενώ τα αποτελέσματα των παραμέτρων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8 (*Chorley et al.* 1984, *Γιαννόπουλος* 2002, *Ritter et al.* 2002, *Βρουχάκης κ.ά.* 2004, *Παυλίδης κ.ά.* 2004, *Μουρατίδης* 2005, *Κατσέλης* 2008, *Μούρτζιος* 2008, *Ψωμιάδης* 2010).

Πίνακας 4.8. Μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης λεκάνης οροπεδίου Δομοκού.

Παράμετρος	Τύπος	Μονάδες	Υπολογισμός
Εμβαδόν (A)	Μετρήθηκε	km^2	606,69
Περίμετρος (P)	Μετρήθηκε	km	146,72
Μήκος (Lb)	Μετρήθηκε	km	39,79
Πλάτος (Br)	Br = A/Lb	km	15,24
Μέγιστο υψόμετρο (Hmax)	Υπολογίστηκε	m	1.633
Ελάχιστο υψόμετρο (Hmin)	Υπολογίστηκε	m	281
Ολικό ανάγλυφο (Basin relief)	H=Hmax–Hmin	m	1.352
Μέσο υψόμετρο (Hmean)	Υπολογίστηκε	m	609
Μέση κλίση λεκάνης	BS = ΣLi d/A	Μοίρες	10,23
Συντελεστής ανάγλυφου (Relief ratio)	RH = H/ Lb	%	3,39
Δείκτης κυκλικότητας (Circularity ratio)	Rc = 4πA/P^2	-	0,35
Δείκτης Επιμήκυνσης (Elongation ratio)	Re = 1,129(A)^{0,5}/ Lb	-	0,69
Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral)	Hi= Hmean–Hmin / Hmax–Hmin	%	24,26
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(ΣNu)	-	2.842
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(ΣLu)	km	1.594,2
Υδρογραφική Πυκνότητα (Drainage density)	D= ΣL(u)/Au	Km/km^2	2,63
Υδρογραφική Συχνότητα (Stream frequency)	F= ΣN(u)/Au	n/Km^2	4,68

Διαπιστώνεται ότι:

- Το εμβαδό της λεκάνης του οροπεδίου είναι 606,69 km^2, η περίμετρος 146,72 km, ενώ το μήκος και το πλάτος 39,79 km και 15,24 km αντίστοιχα.
- Το ολικό ανάγλυφο είναι 1.352 m και το μέσο υψόμετρο 609 m, χαρακτηρίζοντας τη λεκάνη κατά *Dikau* (1989) ως ημιορεινή και εκφράζοντας το υψηλό ενεργειακό δυναμικό της λόγω των έντονων κλίσεων.
- Η μέση κλίση της λεκάνης είναι $10,23^0$, αντιπροσωπεύοντας κατά *Demek* (1972) ένα ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο για το σύνολο της λεκάνης.
- Ο συντελεστής ανάγλυφου είναι 3,39 %, εκφράζοντας το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης και είναι ενδεικτικός της όχι ιδιαίτερα αυξημένης έντασης των διεργασιών διάβρωσης που έγιναν και γίνονται στις κλιτείς της λεκάνης απορροής (*Strahler* 1964).
- Ο δείκτης κυκλικότητας είναι 0,35, δείχνοντας ότι το οροπέδιο είναι επιμήκης λεκάνη με προσανατολισμένη διεύθυνση ροής αποτέλεσμα πρόσφατης τεκτονικής δράσης (*Reddy et al.* 2004).
- Ο δείκτης επιμήκυνσης είναι 0,69, επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι το σχήμα της λεκάνης είναι επίμηκες.
- Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος είναι 24,26% που κατά *Strahler* (1952) σημαίνει, ότι η λεκάνη του οροπεδίου είναι σε στάδιο γήρατος, καθώς η μετάβαση από το στάδιο της νεότητας στο στάδιο της ωριμότητας ανταποκρίνεται κατά προσέγγιση σε υψομετρικό ολοκλήρωμα 60% και από το στάδιο της ωριμότητας στο στάδιο της γήρατος στο 35% (*Αστάρας* 1980). Αν και αυτή η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος σημαίνει, ότι η διάβρωση έχει μετακινήσει το 75,74 % της μάζας της λεκάνης, αυτό δεν συμβαίνει για όλες τις περιοχές. Σύμφωνα με το *Strahler* (1952, 1954, 1958, 1964), τόσο χαμηλές τιμές υψομετρικών ολοκληρωμάτων δείχνουν περιοχές που μπορεί να εμφανίζουν μορφή σταδίου γήρατος, αλλά στην πραγματικότητα αποτελούν μεταβατικό στάδιο (monadnock phase) (*Βρουχάκης κ.ά.* 2004).
- Ο συνολικός αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι 2.842 και το συνολικό μήκος τους φτάνει στα 1.594,2 km.
- Η υδρογραφική πυκνότητα παρουσιάζει τιμή 2,63. Η τιμή αυτή δεν είναι υψηλή και οφείλεται στο ανάγλυφο, στη σκληρότητα των πετρωμάτων, καθώς και στην πυκνή βλάστηση που παρουσιάζει ένα μεγάλο τμήμα του οροπεδίου.
- Η υδρογραφική συχνότητα παρουσιάζει τιμή 4,68 που χαρακτηρίζεται υψηλή και υποδηλώνει υψηλή επιφανειακή απορροή και πλημμυρικά φαινόμενα, γεγονός που σχετίζεται με τους αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς και το απότομο ανάγλυφο του οροπεδίου.

4.3.3.1 Εφαρμογή $1^{ου}$ και $2^{ου}$ νόμου του Horton στο οροπέδιο Δομοκού

<u>$1^{ος}$ νόμος του Horton</u>

Ο πρώτος νόμος του Horton ονομάζεται και νόμος του αριθμού των κλάδων και αναφέρεται στη διαπίστωση, ότι όσο η τάξη των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου μεγαλώνει τόσο μικραίνει ο αριθμός τους, με αποτέλεσμα σε διαδοχικές τάξεις κλάδων να υπάρχει η τάση αύξουσας γεωμετρικής ακολουθίας. Αυτό εκφράζεται από τη σχέση:

$$\boldsymbol{Nu = \overline{Rb}^{K-u}}$$

όπου $\boldsymbol{Nu}$: Η ιδανική τιμή του αριθμού των κλάδων τάξεως u

$\boldsymbol{\overline{Rb}}$**:** ο μέσος λόγος διακλάδωσης (ο λόγος διακλάδωσης είναι: $Rb = \frac{Nu}{Nu+1}$)

$\boldsymbol{K}$**:** η μέγιστη τάξη των κλάδων και

$\boldsymbol{u}$ **:** η ζητούμενη τάξη

Για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του αριθμού των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου οροπεδίου Δομοκού υπολογίστηκαν οι λόγοι διακλάδωσης (Rb), ο ιδανικός αριθμός κλάδων κάθε τάξης και τα ποσοστά απόκλισης των πραγματικών από τις ιδανικές τιμές (Πίνακας 4.9).

Πίνακας 4.9. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του οροπεδίου Δομοκού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1^{ο} νόμο του Horton.

Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης $\overline{Rb}$	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	2.063	3,49	3,62	2.250	-8,31
2	590	4,04		622	-5,14
3	146	4,86		172	-15,11
4	30	3,33		47	-36,17
5	9	3		13	-30,77
6	3	3		4	-25,00
7	1			1	0

Πίνακας 4.10. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του οροπεδίου Δομοκού και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2^{ο} νόμο του Horton.

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους ($\overline{RL}$)	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,38	1,69	1,77	0,38	0
2	0,64	2,17		0,67	-4,48
3	1,39	2,79		1,19	16,80
4	3,88	2,21		2,10	84,76
5	8,57	0,89		3,72	130,38
6	7,67	0,87		6,58	16,56
7	6,7			11,65	-42,48

Διαπιστώνεται, ότι οι αριθμοί των κλάδων όλων των τάξεων είναι σημαντικά μικρότεροι, καθώς υπάρχει σημαντική αρνητική απόκλιση από τις ιδανικές τιμές. Από το γεγονός αυτό προκύπτει, ότι το υδρογραφικό δίκτυο του οροπεδίου είναι σε εξέλιξη και βρίσκεται σε στάδιο νεότητας και απέχει από την ιδανική ανάπτυξη που θα επέτρεπε τη βέλτιστη αποστράγγισή του (*Κατσέλης* 2008). Ο υψηλός συντελεστής διακλάδωσης (bifurcation ratio) (Rb=3,62) είναι χαρακτηριστικός της υπεροχής της επιφανειακής απορροής έναντι της κατείσδυσης, και σχετίζεται με τα υδατοστεγανά πετρώματα από τα οποία συνίσταται κατά ένα μεγάλο μέρος το οροπέδιο.

2^{ος} νόμος του Horton

Ο δεύτερος νόμος του Horton (μήκους των κλάδων) αποτυπώνει τη σχέση του μέσου μήκους των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, τα μέσα μήκη των διαδοχικά μεγαλύτερης τάξης κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνουν να σχηματίσουν μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των κλάδων πρώτης τάξης και λόγος ο λόγος του μήκους (*Παυλόπουλος και Καρύμπαλης* 2003 από *Κατσέλη 2008, Ζουμπούλογλου* 2006) (Πίνακας 4.10). Αυτό εκφράζεται από τη σχέση:

$$\boldsymbol{\Sigma\overline{Lu} = \overline{L_1}\,\overline{RL}^{u-1}}$$

όπου $\boldsymbol{\Sigma\overline{Lu}}$: Η ιδανική τιμή του μήκους των κλάδων τάξεως u

$\boldsymbol{\overline{RL}}$**:** ο μέσος λόγος του μήκους (ο λόγος του μήκους είναι: $RL = \frac{\overline{Lu}}{\overline{Lu-1}}$)

$\boldsymbol{\overline{L_1}}$**:** το μέσο μήκος του κλάδου 1ης τάξης

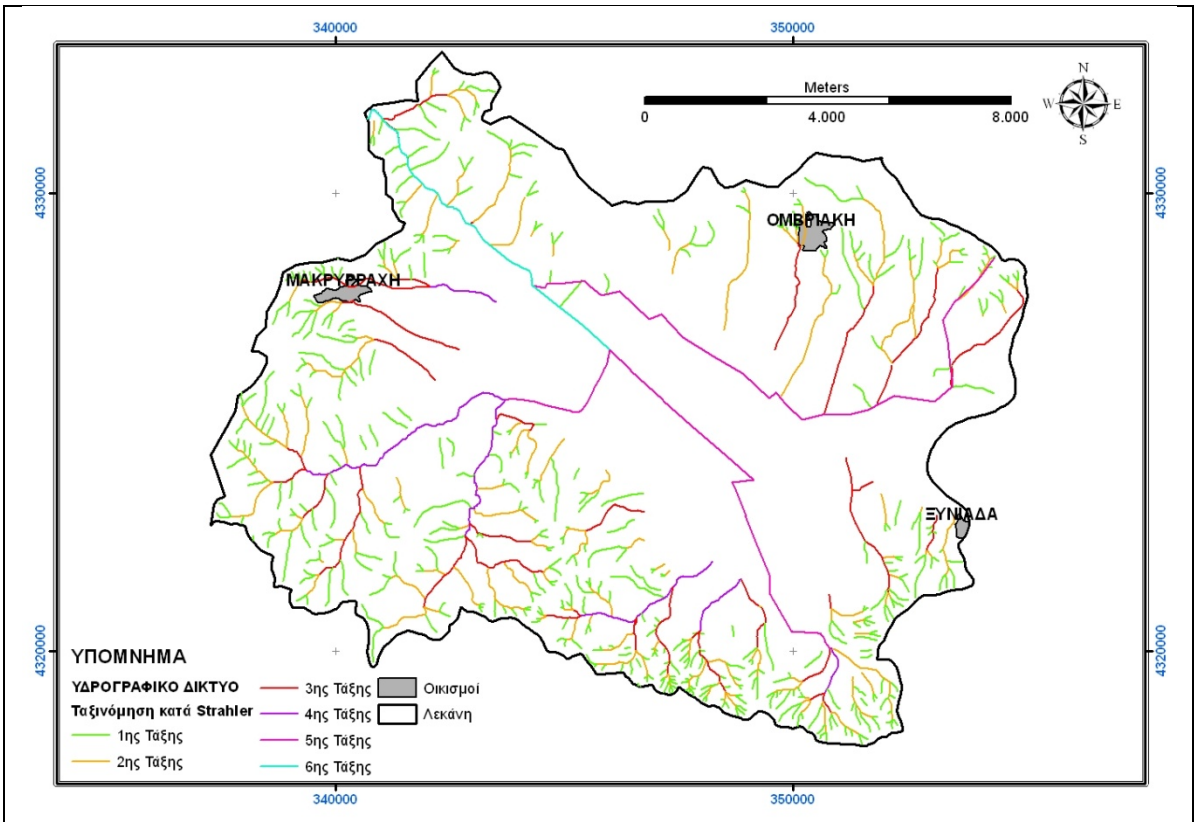
$\boldsymbol{u}$ **:** η ζητούμενη τάξη

Από τον πίνακα 4.10 διαπιστώνεται, ότι οι κλάδοι 2ης και 7ης τάξης βρίσκονται σε στάδιο νεότητας και δεν έχουν προλάβει να αποκτήσουν το μέγιστο μήκος τους. Αντίθετα οι υπόλοιποι κλάδοι βρίσκονται σε στάδιο ωριμότητας, όσον αφορά το μήκος τους και δείχνουν μια υπερανάπτυξη του μήκους των κοιτών τους, καθώς και αυξημένη ικανότητα αποστράγγισης των εκτάσεων τους (*Καρύμπαλης κ.ά.* 2005).

Επιπρόσθετα και σε σχέση με τα προηγούμενα, για την καλύτερη μελέτη και ποσοτική ανάλυση των μορφομετρικών παραμέτρων της περιοχής έρευνας, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί και επεξεργασία των παραμέτρων για κάθε λεκάνη χωριστά που παρατίθενται πιο κάτω.

4.3.4 Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης Ξυνιάδας

Για την λεκάνη Ξυνιάδας πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler (Πίνακας 4.11), καθώς και γεωμορφολογική και μορφομετρική ανάλυση. Η ταξινόμηση κατά Strahler έδειξε, ότι η κεντρική τάφρος που αποστραγγίζει τη λεκάνη



Σχήμα 4.8. Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Ξυνιάδας.

φτάνει στην έξοδο της σαν 6ης τάξης (Σχήμα 4.8).

Από τον πίνακα 4.11, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι αριθμοί και τα μήκη ανά τάξη ρεμάτων, διαπιστώνεται, ότι ο συνολικός αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι (ΣNu) 539 και το συνολικό μήκος τους (ΣLu) είναι 340,7 km.

Πίνακας 4.11. Η τάξη ρεμάτων και τα μήκη αυτών του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ξυνιάδας.

Τάξη κλάδων (u)	Αριθμός κλάδων(Nu)	Μήκος κλάδων (Lu) (km)
1ης	387	152,9
2ης	110	82,2
3ης	32	50,8
4ης	6	17,2
5ης	3	29,5
6ης	1	8,1

Πίνακας 4.12. Μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης λεκάνης Ξυνιάδας.

Παράμετρος	Τύπος	Μονάδες	Υπολογισμός
Εμβαδόν (A)	Μετρήθηκε	km^2	167,90
Περίμετρος (P)	Μετρήθηκε	km	66,19
Μήκος (Lb)	Μετρήθηκε	km	19,87
Πλάτος (Br)	Br = A/Lb	km	8,45
Μέγιστο υψόμετρο (Hmax)	Υπολογίστηκε	m	977
Ελάχιστο υψόμετρο (Hmin)	Υπολογίστηκε	m	384
Ολικό ανάγλυφο (Basin relief)	H=Hmax–Hmin	m	593
Μέσο υψόμετρο (Hmean)	Υπολογίστηκε	m	540
Μέση κλίση λεκάνης	Υπολογίστηκε	Μοίρες	8,65
Συντελεστής ανάγλυφου (Relief ratio)	RH = H/ Lb	%	2,98
Δείκτης κυκλικότητας (Circularity ratio)	$Rc = 4\pi A/P^2$	-	0,48
Δείκτης Επιμήκυνσης (Elongation ratio)	$Re = 1,129(A)^{0,5}/ Lb$	-	0,74
Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral)	Hi= Hmean–Hmin / Hmax–Hmin	%	26,30
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	539
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(ΣLu)	km	340,7
Υδρογραφική Πυκνότητα (Drainage density)	D= ΣL(u)/Au	Km/km^2	2,02
Υδρογραφική Συχνότητα (Stream frequency)	F= ΣN(u)/Au	n/Km^2	3,21

Στον πίνακα 4.12 παρουσιάζονται οι υπολογισμένες μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης της λεκάνης Ξυνιάδας από όπου διαπιστώνεται:

- Το εμβαδό της λεκάνης Ξυνιάδας είναι 167,90 km^2, η περίμετρος 66,19 km, ενώ το μήκος και το πλάτος 19,87 km και 8,45 km αντίστοιχα, χαρακτηρίζοντας τη λεκάνη μέτρια σε μέγεθος.
- Το ολικό ανάγλυφο είναι 593 m εκφράζοντας την υψομετρική διαφορά μεταξύ του υδροκρίτη και του στόμιου της λεκάνης και είναι ενδεικτικό του σχετικά μικρού ενεργειακού δυναμικού του υδρογραφικού δικτύου, ενώ το μέσο υψόμετρο, όπως

υπολογίστηκε από το DEM αρχείο, είναι 540 m χαρακτηρίζοντας την λεκάνη κατά *Dikau* (1989) λοφώδης.

- Η μέση κλίση της λεκάνης είναι σχετικά μικρή $8,65^0$ αντιπροσωπεύοντας κατά *Demek* (1972) ένα σχετικά ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο, ενώ η ελάχιστη και η μέγιστη κλίση όπως υπολογίστηκαν από το TIN αρχείο είναι 0^0 και $89,43^0$ αντίστοιχα.
- Ο συντελεστής ανάγλυφου είναι 2,98 % εκφράζοντας το συνολικό βαθμό κλίσης και φανερώνοντας το μειωμένο βαθμό των διεργασιών διάβρωσης που έγιναν και γίνονται στις κλιτείς της λεκάνης (*Strahler* 1964).
- Ο δείκτης κυκλικότητας είναι 0,48 εκφράζοντας το επίμηκες του σχήματος της λεκάνης. Σύμφωνα με τους *Παυλόπουλο και Καρύμπαλη* (2004) από *Κατσέλη* (2008), τιμές κυκλικότητας κοντά στο 0,79 χαρακτηρίζουν λεκάνες με τετράγωνο σχήμα και όσο η τιμή γίνεται μικρότερη τόσο το σχήμα γίνεται περισσότερο επίμηκες. Επίμηκες μορφές χαρακτηρίζουν λεκάνες με πιθανή κυρίαρχη διαδικασία την οπισθοδρομούσα παρά την κατά βάθος διάβρωση, γεγονός που πιθανολογείται ότι πρέπει να συμβαίνει και στην λεκάνη Ξυνιάδας.
- Ο δείκτης επιμήκυνσης έχει τιμή 0,74 και επιβεβαιώνει ότι το σχήμα της λεκάνης είναι επίμηκες.
- Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος είναι 26,3% που σημαίνει ότι η λεκάνη βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο (monadnock phase) και δεν αποτελεί απαραίτητα έκφραση του όγκου που έχει διαβρωθεί και μεταφερθεί. Έτσι εξηγείται η μικρή τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος, που σε διαφορετική περίπτωση θα έδειχνε μια περιοχή που βρίσκεται σε στάδιο γήρατος (*Βρουχάκης κ.ά.* 2004).
- Ο συνολικός αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι 539 και το συνολικό μήκος τους φτάνει στα 340,7 km, ενώ η μορφή του μπορεί να χαρακτηριστεί κατά τόπους δενδριτική και παράλληλης μορφής.
- Η υδρογραφική πυκνότητα παρουσιάζει τιμή 2,02. Η τιμή αυτή δεν είναι υψηλή, σχετίζεται με την ύπαρξη της πρώην λίμνης, η οποία καταλάμβανε ένα μεγάλο τμήμα της λεκάνης (34 km^2), τη βλάστηση, και το ανάγλυφο, καθώς τα επίπεδα εδάφη ευνοούν το σχηματισμό αραιού υδρογραφικού δικτύου.
- Η υδρογραφική συχνότητα παρουσιάζει τιμή 3,21 που δεν χαρακτηρίζεται υψηλή και σχετίζεται με τους γεωλογικούς σχηματισμούς, τις μέτριες μορφολογικές κλίσεις και το επίπεδο κατά μεγάλο μέρος ανάγλυφο της λεκάνης.

4.3.4.1 Εφαρμογή $1^{ου}$ και $2^{ου}$ νόμου του Horton στην λεκάνη Ξυνιάδας

Από την εφαρμογή του $1^{ου}$ και $2^{ου}$ νόμου του Horton για την ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ξυνιάδας προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες 4.13 και 4.14 αντίστοιχα. Διαπιστώνεται, ότι το υδρογραφικό δίκτυο βρίσκεται σε στάδιο νεότητας, καθώς παρουσιάζει σημαντική αρνητική απόκλιση του αριθμού των κλάδων από τις ιδανικές τιμές (*Καρύμπαλης κ.ά.* 2005, *Κατσέλης* 2008), ενώ ο υψηλός συντελεστής διακλάδωσης (Rb=3,46) υποδηλώνει αυξημένη επιφανειακή απορροή. Επιπρόσθετα, οι αρνητικές αποκλίσεις από τις ιδανικές τιμές για τα μήκη των κλάδων οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι οι κλάδοι βρίσκονται σε στάδιο νεότητας και δεν έχουν καταφέρει να αποκτήσουν το μέγιστο μήκος τους. Σε αντίθεση ο κλάδος της $5^{ης}$ τάξης με την θετική του απόκλιση υποδηλώνει ικανοποιητική ανάπτυξη του μήκους και αυξημένη ικανότητα αποστράγγισης, γεγονός που παρουσιάζεται φυσιολογικό, καθώς αποτελεί το βασικό αποστραγγιστικό άξονα της πρώην λίμνης Ξυνιάδας (*Κατσέλης* 2008, Πίνακας 4.14).

4.3.5 Μορφομετρικές παράμετροι λεκάνης Σκοπιάς

Για τη λεκάνη Σκοπιάς η ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler, έδειξε ότι ο κεντρικός κλάδος του Ενιππέα φτάνει στην έξοδο της λεκάνης σαν $7^{ης}$ τάξης (Σχήμα 4.9).

Πίνακας 4.13. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ξυνιάδας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1^{ο} νόμο του Horton.

Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης $\overline{Rb}$	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	387	3,52	3,46	495	-21,81
2	110	3,44		143	-23,08
3	32	5,33		41	-21,95
4	6	2		12	-50,00
5	3	3		3	0
6	1			1	0

Πίνακας 4.14. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Ξυνιάδας και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2^{ο} νόμο του Horton.

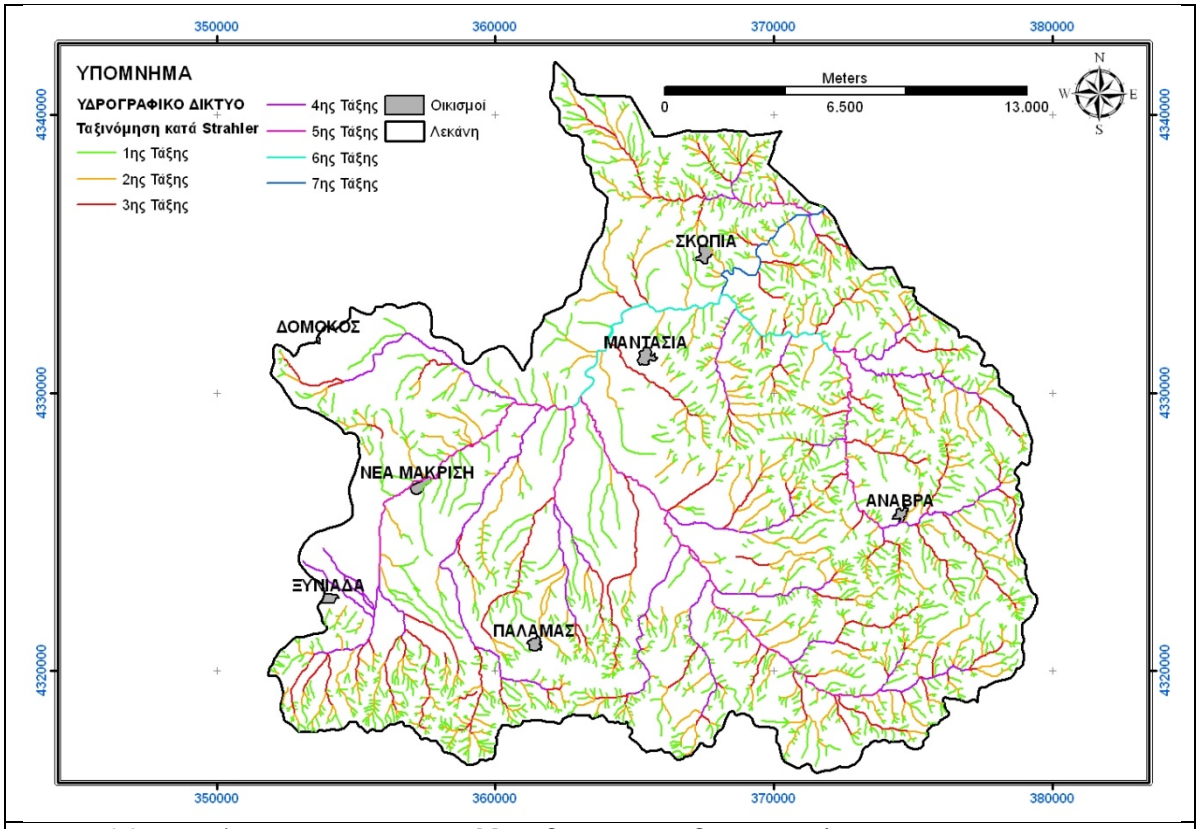
Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους ($\overline{RL}$)	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,39	1,89	2,02	0,39	0
2	0,74	2,15		0,79	-6,33
3	1,59	1,80		1,60	-0,62
4	2,87	3,42		3,23	-11,15
5	9,83	0,82		6,52	50,77
6	8,1			13,17	-38,50

Οι αριθμοί και τα μήκη ανά τάξη ρεμάτων παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 4.15, από όπου διαπιστώνεται, ότι ο συνολικός αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι (ΣNu) 2.303 και το συνολικό μήκος τους (ΣLu) είναι 1.253,5 km.

Οι υπολογισμένες μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης της λεκάνης Σκοπιάς παρουσιάζονται στον πίνακα 4.16, από όπου διαπιστώνεται:

- Το εμβαδό της λεκάνης είναι 438,79 km^2 και η περίμετρος 116,06 km, ενδεικτικά μιας μεγάλης σε μέγεθος λεκάνης, ενώ το μήκος και το πλάτος 39,79 km και 11,02 km αντίστοιχα.
- Το ολικό ανάγλυφο είναι 1.352 m εκφράζοντας το υψηλό ενεργειακό δυναμικό του υδρογραφικού δικτύου, ενώ το μέσο υψόμετρο, υπολογισμένο από το DEM αρχείο, ανέρχεται στα 629 m, χαρακτηρίζοντας τη λεκάνη ημιορεινή (*Dikau* 1989).
- Η μέση κλίση της λεκάνης είναι 10,64^0, χαρακτηρίζεται σχετικά μεγάλη και αποτελεί μία ποσοτική έκφραση της τραχύτητας του ανάγλυφου, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο περισσότερο απότομο και τραχύ είναι το ανάγλυφο της κοιλάδας. Επιπλέον αντιπροσωπεύει ένα ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο (*Demek* 1972), ενώ η ελάχιστη και η μέγιστη κλίση όπως υπολογίστηκαν από το TIN αρχείο, είναι 0^0 και 89,22^0 αντίστοιχα.

- Ο συντελεστής ανάγλυφου είναι 3,39%, εκφράζοντας τον ολικό βαθμό κλίσης και αποκαλύπτοντας κατά *Strahler* (1964) το μικρό βαθμό των διεργασιών διάβρωσης που έγιναν και γίνονται στις κλιτείς της λεκάνης, στη διαμόρφωση των οποίων σημαντικό ρόλο έχουν παίξει η λιθολογία, ο τεκτονισμός, το κλίμα και η βλάστηση.
- Ο δείκτης κυκλικότητας είναι 0,40, τιμή η οποία χαρακτηρίζεται μικρή και σχετίζεται με την προσανατολισμένη διεύθυνση της ροής του νερού. Η τιμή αυτή της κυκλικότητας αποτελεί πιθανά ένδειξη, ότι η διαμόρφωση της κεντρικής κοίτης του Ενιππέα έχει βοηθηθεί από την ύπαρξη τεκτονικών ασυνεχειών (ρήγματα, διακλάσεις) ή την επαφή γεωλογικών σχηματισμών διαφορετικής λιθολογίας (*Παυλόπουλος και Καρύμπαλης* 2003 από *Κατσέλη* 2008).



Σχήμα 4.9. Το ταξινομημένο κατά Strahler υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης Σκοπιάς.

Πίνακας 4.15. Η τάξη ρεμάτων και τα μήκη αυτών του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Σκοπιάς.

Τάξη κλάδων (u)	Αριθμός κλάδων(Nu)	Μήκος κλάδων (Lu) (km)
1ης	1.676	634,4
2ης	480	297,9
3ης	114	152,8
4ης	24	99,23
5ης	6	47,6
6ης	2	14,9
7ης	1	6,7

- Ο δείκτης επιμήκυνσης έχει τιμή 0,59 και υποδηλώνει ότι το σχήμα της λεκάνης είναι επίμηκες.
- Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος είναι 25,74 % που σημαίνει ότι η λεκάνη βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο (monadnock phase) (*Βρουχάκης κ.ά.* 2004).
- Ο συνολικός αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι 2.303 και το

συνολικό μήκος του φθάνει τα 1.253,5 km. Το σχήμα του υδρογραφικού δικτύου στη λεκάνη Σκοπιάς είναι δενδριτικό και είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασης, του μορφολογικού ανάγλυφου, της τεκτονικής, καθώς και των κλιματικών παραγόντων της συγκεκριμένης περιοχής. Η δενδριτική μορφή σε συνδυασμό με τις μεγάλες μορφολογικές κλίσεις δικαιολογούν την υπεροχή της επιφανειακής απορροής έναντι της κατείσδυσης**.**

- Η υδρογραφική πυκνότητα παρουσιάζει τιμή 2,86. Η τιμή αυτή δεν είναι υψηλή και σχετίζεται με την πυκνή βλάστηση που κατέχει μεγάλο τμήμα της λεκάνης, ενώ η γεωγραφική της κατανομή ελέγχεται από την λιθολογία της λεκάνης.
- Η υδρογραφική συχνότητα παρουσιάζει τιμή 5,25 που χαρακτηρίζεται υψηλή και σχετίζεται με την, περιορισμένη περατότητα των λιθολογικών σχηματισμών και την ανάπτυξη λεπτής υδρογραφικής υφής. Η υδρογραφική πυκνότητα μαζί με την υδρογραφική συχνότητα συνθέτουν την υδρογραφική υφή (drainage texture) μιας λεκάνης. Υψηλές τιμές πυκνότητας και συχνότητας είναι ένδειξη λεπτής υδρογραφικής υφής, ενώ χαμηλές τιμές χαρακτηρίζουν τραχεία υδρογραφική υφή (*Κατσέλης* 2008).

4.3.5.1 Εφαρμογή 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton στην λεκάνη Σκοπιάς

Η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου για την λεκάνη Σκοπιάς, που παρουσιάζεται στους πίνακες 4.17 και 4.18, έδειξε, ότι υπάρχουν σαφείς αποκλίσεις και για τους δύο νόμους του Horton. Στον 1^{ο} νόμο, οι αρνητικές αποκλίσεις αποτελούν σαφή ένδειξη, ότι το υδρογραφικό δίκτυο βρίσκεται σε στάδιο νεότητας και από την πλευρά του αριθμού των κλάδων απέχει από την ιδανική ανάπτυξη. Έτσι, οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου είναι σε αριθμό, πολύ λιγότεροι από ότι αν επικρατούσαν οι ιδανικές συνθήκες απορροής, με τις σημαντικότερες

Πίνακας 4.16 Μορφομετρικές παράμετροι ανάλυσης λεκάνης Σκοπιάς.

Παράμετρος	Τύπος	Μονάδες	Υπολογισμός
Εμβαδόν (A)	Μετρήθηκε	km^2	438,79
Περίμετρος (P)	Μετρήθηκε	km	116,06
Μήκος (Lb)	Μετρήθηκε	km	39,79
Πλάτος (Br)	Br = A/Lb	km	11,02
Μέγιστο υψόμετρο (Hmax)	Υπολογίστηκε	m	1.633
Ελάχιστο υψόμετρο (Hmin)	Υπολογίστηκε	m	281
Ολικό ανάγλυφο (Basin relief)	H=Hmax–Hmin	m	1.352
Μέσο υψόμετρο (Hmean)	Υπολογίστηκε	m	629
Μέση κλίση λεκάνης	Υπολογίστηκε	Μοίρες	10,64
Συντελεστής ανάγλυφου (Relief ratio)	RH = H/ Lb	%	3,39
Δείκτης κυκλικότητας (Circularity ratio)	$Rc = 4\pi A/P^2$	-	0,40
Δείκτης Επιμήκυνσης (Elongation ratio)	$Re = 1,129(A)^{0,5}/ Lb$	-	0,59
Υψομετρικό ολοκλήρωμα (Hypsometric Integral)	Hi= Hmean–Hmin / Hmax–Hmin	%	25,74
Αριθμός κλάδων ρεμάτων	(Nu)	-	2.303
Συνολικό μήκος ρεμάτων	(ΣLu)	km	1.253,5
Υδρογραφική Πυκνότητα (Drainage density)	D= ΣL(u)/Au	Km/km^2	2,86
Υδρογραφική Συχνότητα (Stream frequency)	F= ΣN(u)/Au	n/Km^2	5,25

αποκλίσεις να παρατηρούνται στην 4η και στην 5η τάξη.

Στο 2ο νόμο του Horton, οι υψηλές θετικές αποκλίσεις υποδηλώνουν την υπέρμετρη ανάπτυξη του μήκους των κλάδων και την αυξημένη ικανότητα αποστράγγισης των εκτάσεων τους. Αντίθετα οι κλάδοι 2ης και 7ης τάξης απέχουν από το ιδανικό μήκος τους γεγονός που αντανακλά στη μειωμένη ικανότητα αποστράγγισης των εκτάσεων τους (*Καρύμπαλης κά.* 2005, *Κατσέλης* 2008).

Πίνακας 4.17. Σχέση μεταξύ του αριθμού κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Σκοπιάς και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 1ο νόμο του Horton.

Τάξη (u)	Αριθμός κλάδων (Nu)	Λόγος διακλάδωσης (Rb)	Μέσος λόγος διακλάδωσης $\overline{Rb}$	Ιδανική τιμή	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	1.676	3,43	3,57	2.070	-19,03
2	480	4,21		580	-17,24
3	114	4,75		162	-29,63
4	24	4		45	-46,67
5	6	3		13	-53,85
6	2	2		4	-50,00
7	1			1	0

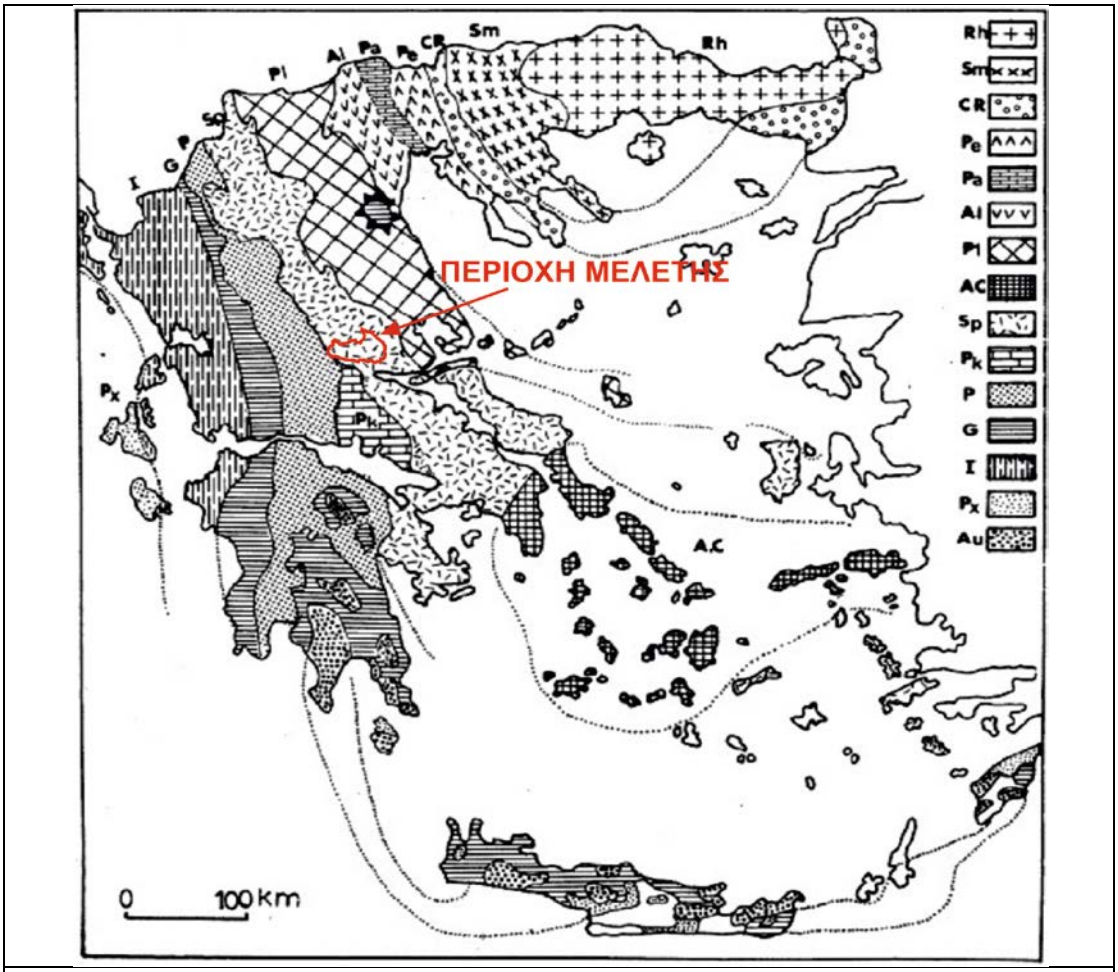
Πίνακας 4.18. Σχέση μεταξύ του μέσου «καθαρού» μήκους των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης Σκοπιάς και των ιδανικών τιμών ανά τάξη, σύμφωνα με τον 2ο νόμο του Horton.

Τάξη (u)	Μέσο μήκος κλάδων (Lu) (km)	Λόγος μήκους (RL)	Μέσος λόγος μήκους ($\overline{RL}$)	Ιδανικό μήκος κλάδων (km)	Απόκλιση από την ιδανική τιμή (%)
1	0,38	1,64	1,77	0,38	0
2	0,62	2,16		0,67	-7,46
3	1,34	3,08		1,19	12,61
4	4,13	1,92		2,10	96,67
5	7,93	0,94		3,72	113,17
6	7,45	0,90		6,58	13,22
7	6,70			11,65	-42,49

5. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

5.1 Γενικά

Η λεκάνη του οροπεδίου Δομοκού που αποτελεί τμήμα της Όθρυος ανήκει στο σύνολό της στην Υποπελαγονική γεωτεκτονική ζώνη *(Mountrakis et al.* 1983, *Μουντράκης* 1985, *Katsikatsos et al.* 1986, *Μιγκίρος* 1990 & 2005).



Σχήμα 5.1. Γεωτεκτονική διάταξη των ελληνίδων ζωνών (*Mountrakis et al*. 1983).
Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα πλακωδών Ασβεστόλιθων.

Η Υποπελαγονική είναι η μόνη γεωτεκτονική ζώνη στην οποία οι έντονες μεταβολές γίνονται και εγκάρσια ως προς τον μέγιστο άξονα ανάπτυξής της, γεγονός που της προσδίδει ένα χαρακτήρα ιδιαιτερότητας σε σχέση με τις άλλες ζώνες των ελληνίδων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να οφείλεται στην άμεση σύνδεση της ζώνης αυτής με το Μεσοζωικό ωκεανό του Δυτικού Οφιολιθικού Τόξου, ο οποίος αναπτυσσόταν Δυτικότερα της Πελαγονικής και Ανατολικότερα της ζώνης της Πίνδου (*Μιγκίρος* 2005).

Ο όρος Υποπελαγονική δόθηκε από τον *Aubouin* (1959) για να υπογραμμίσει την στενή σύνδεση αυτής με την Πελαγονική ζώνη. Καθόρισε την παλαιογεωγραφική θέση της Υποπελαγονικής ως την δυτική κατωφέρεια του υβώματος της Πελαγονικής προς την αύλακα της ζώνης της Πίνδου. Απέδωσε έτσι στην Υποπελαγονική ένα χαρακτήρα ιζηματογένεσης ενδιάμεσης μεταξύ νηριτικής και πελαγικής φάσης, της οποίας το κύριο

χαρακτηριστικό είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα αυτές σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Για το λόγο αυτό η ζώνη ονομάζεται και «ζώνη οφιόλιθων» ή ακόμη και «ζώνη της Όθρυος» επειδή η σπουδαιότερη οφιολιθική ακολουθία βρίσκεται στην Όθρυ. Ο κύριος όγκος των οφιόλιθων βρίσκεται στην ανώτερη στάθμη της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης. Στη βάση τους παρατηρείται σχηματισμός τεκτονικών οφιολιθικών μιγμάτων (mélanges). Εμφανίζονται πλήρεις ακολουθίες οφιόλιθων με όλα τα βασικά και υπερβασικά πετρώματα, πλουτωνικά και ηφαιστειακά, τα κυριότερα των οποίων είναι περιδοτίτες, σερπεντίνες, δουνίτες, γάββροι, διαβάσης, δολερίτες, βασάλτες, κ.ά. (*Μουντράκης* 1985, σχήμα 5.1).

5.2 Γεωλογικοί Σχηματισμοί

5.2.1 Θεματικός γεωλογικός χάρτης

Για τον καθορισμό και την οριοθέτηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας πραγματοποιήθηκε ψηφιοποίηση των γεωλογικών χαρτών της περιοχής και των κυρίων ρηγμάτων από το σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας (*ΙΓΜΕ* 1989) με τη βοήθεια του λογισμικού ΓΠΣ ArcGIS 9.3. Η περιοχή καλύφθηκε από 5 φύλλα γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ (πρώην ΙΓΕΥ), κλίμακας 1:50.000 (Σχήμα 5.2, Πίνακας 5.1).

5.2.2 Γεωλογικές ενότητες

Με σκοπό την καλύτερη επεξεργασία οι λιθολογικά ίδιοι σχηματισμοί των γεωλογικών χαρτών, ενοποιήθηκαν και με την βοήθεια του ArcGIS 9.3 υπολογίστηκε η έκτασή τους, καθώς και το ποσοστό που καταλαμβάνουν (Σχήμα 5.3, Πίνακας 5.2).

Η γεωλογική διάρθρωση τους από τους νεότερους προς τους παλαιότερους σχηματισμούς περιλαμβάνει:

α) <u>Μεταλπικοί σχηματισμοί</u>

<u>Τεταρτογενές</u>

- Αλλουβιακές και διλουβιακές αποθέσεις του τεταρτογενούς που αποτελούνται από αργίλους, άμμους, λατύπες, κροκάλες, χαλαρούς ψαμμίτες, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, υλικά κοίτης, ποταμοχειμάρια φερτά υλικά και λιμναίες αποθέσεις τύρφης και πηλών στο πεδινό τμήμα της αποξηραμένης λίμνης Ξυνιάδας. Έχουν πάχος από λίγα μέτρα έως περίπου 200 m, κατά στρώματα (όπου υπάρχουν άμμοι, χαλίκια κλπ). Έχουν μεγάλη εμφάνιση στο κεντρικό και πεδινό τμήμα της λεκάνης.

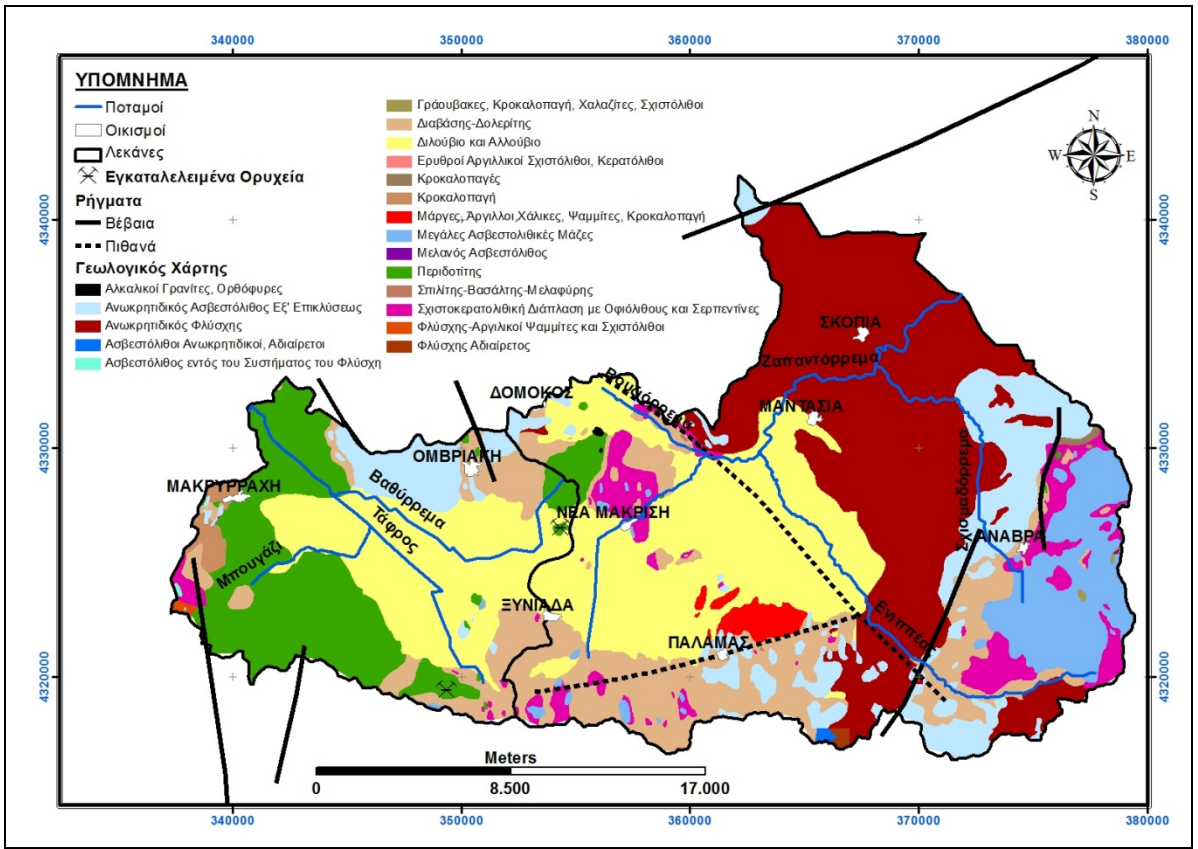
Πίνακας 5.1 Φύλλα Γεωλογικών Χαρτών, κλίμακας 1:50.000 (ΙΓΜΕ).

No	Φύλλο	Έκδοση	Συντάκτες
1	Στυλίς	1963	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.
2	Λαμία	1967	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β. (Βόρειο τμήμα)
			Παπασταματίου Ι., Τάταρη Α., Βετούλη Δ., Μπορνόβα Ι. Κατσικάτσου Γ., Μαραγουδάκη Ν., Λαλεχού Ν. (Νότιο τμήμα)
3	Ανάβρα	1957	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.
4	Δομοκός	1957	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.
5	Λεοντάριον	1962	Μαρίνος Γ., Αναστόπουλος Ι., Μαράτου Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονόπουλος Β.

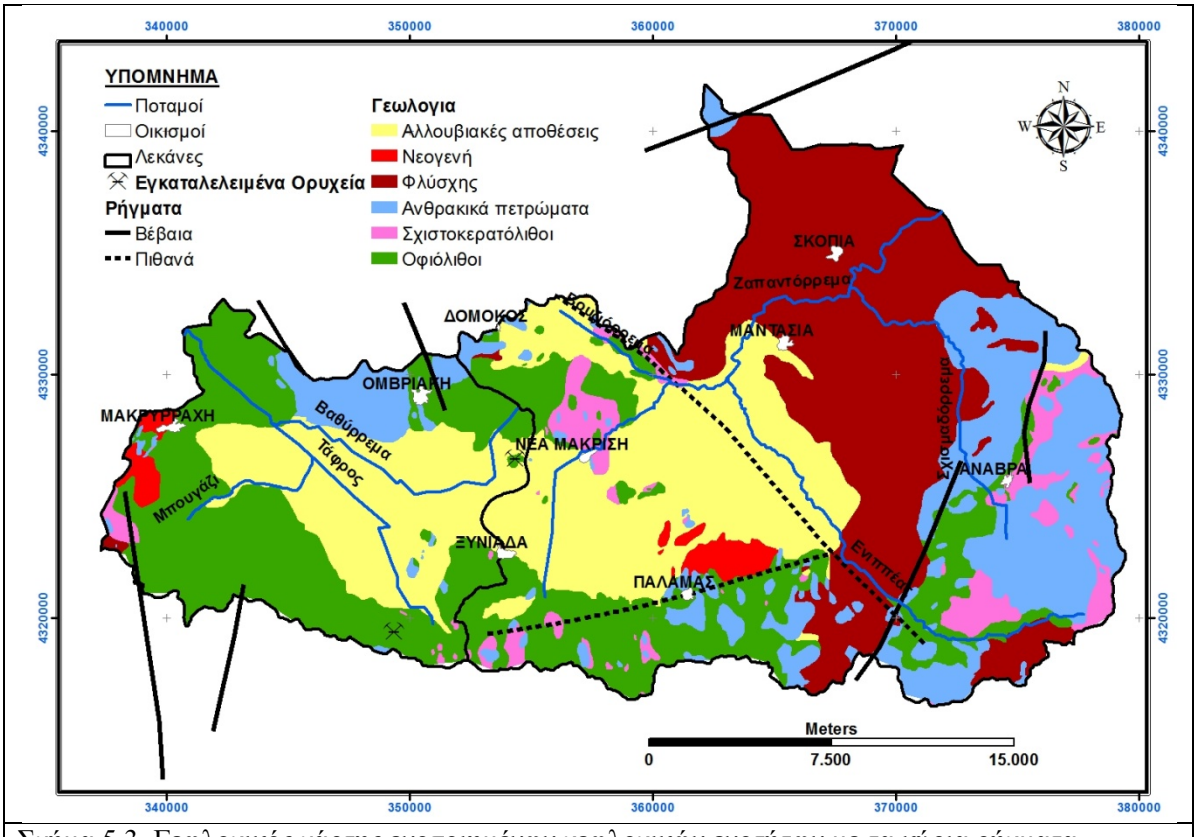
<u>Πλειόκαινο- Ολιγόκαινο-Μειόκαινο</u>

- Μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και λιμναία

ιζήματα με λιγνίτες του νεογενούς. Το πάχος του είναι άγνωστο και όχι ιδιαίτερα μεγάλο. Η εμφάνιση του είναι επιφανειακή βόρεια των οικισμών Μακρολείβαδου



Σχήμα 5.2. Θεματικός γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας.



Σχήμα 5.3. Γεωλογικός χάρτης ενοποιημένων γεωλογικών ενοτήτων με τα κύρια ρήγματα.

και Παλαμά. Απαντά όμως και κάτω από τις τεταρτογενείς πεδινές προσχώσεις.

- Μεταλπικά ιζήματα μολασσικού τύπου που συνίστανται από ψαμμιτικό κροκαλοπαγές με μέτρια αποστρογγυλωμένες κροκάλες και αργιλοαμμώδες συνδετικό υλικό. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι τα ανατολικά όρια της προς νότο προέκτασης των ολιγοκαινικών ιζημάτων της Μεσοελληνικής Αύλακας. Η Μεσοελληνική Αύλακα είναι η μεγαλύτερη και πιο σημαντική μολασσικού τύπου λεκάνη των Ελληνίδων. Εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ παράλληλα στο ελληνικό ορογενετικό τόξο και τα ιζήματα της καταλαμβάνουν ένα μικρό μέρος της λεκάνης Β και Ν του οικισμού της Μακρυράχης αλλά αναπτύσσονται εκτεταμένα εκτός αυτής ΒΔ προς τη Θεσσαλία.

Πίνακας 5.2. Εμβαδά και ποσοστά επί του συνόλου των ενοποιημένων γεωλογικών ενοτήτων της λεκάνης οροπεδίου Δομοκού.

α/α	Γεωλογικός σχηματισμός	Εμβαδό (Km^2)	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
1	Αλλουβιακές αποθέσεις	163,04	26,87
2	Νεογενή	9,73	1,60
3	Ανθρακικά πετρώματα	148,59	24,49
4	Φλύσχης	102,1	16,83
5	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	27,96	4,61
6	Οφιολιθικό σύμπλεγμα	155,27	25,59
	Σύνολο:	606,69	100,00

β) Αλπικοί σχηματισμοί

Ανωκρητιδικό-Ηώκαινο

- Ανωκρητιδικός φλύσχης που αποτελεί στρωματογραφική συνέχεια του ασβεστόλιθου. Αποτελείται λιθολογικά από αργιλλικούς σχιστόλιθους, αργιλλικούς ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγείς ασβεστόλιθους σε παρενστρώσεις μικρού πάχους κατά θέσεις, χωρίς πλευρική συνέχεια. Καταλαμβάνει μεγάλη έκταση στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της λεκάνης.
- Πλακώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που είναι επικλυσιγενής πάνω στους Τριαδικό-Ιουρασικούς σχηματισμούς. Είναι κυρίως παχυστρωματώδεις έως μαζώδεις, τεφροί, τεφρομέλας. Στη βάση τους φέρουν κροκαλοπαγές επίκλυση ή και μαργαϊκά στρώματα. Το πάχος τους δεν είναι μεγαλύτερο από 200-300 m και εμφανίζονται στο ανατολικό κομμάτι της λεκάνης του οροπεδίου, ΝΑ του οικισμού Παλαμά και ΒΔ της λεκάνης ανατολικά και δυτικά του οικισμού της Ομβριακής, καλύπτοντας σχεδόν όλη τη μάζα του Ξεροβουνίου.

Τριαδικό-Ιουρασικό

- Πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης Τριαδικής–Ιουρασικής ηλικίας που αποτελούνται από κερατόλιθους, αργιλλικούς σχιστόλιθους, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθους, όλα σε λεπτά εναλλασσόμενα στρώματα με παρεμβολές-παρενστρώσεις μεγάλων όγκων-στρωμάτων ασβεστόλιθων. Επίσης υπάρχουν παρεμβολές οφιόλιθων και οφιολιθικοί τόφφοι. Απαντούν ανατολικά της λεκάνης και στο κέντρο της, βόρεια του οικισμού Νέας Μάκρισης.
- Οφιόλιθοι που συνιστούν ενιαίο σχηματισμό με σχιστοκερατολιθική διάπλαση αν και υπάρχουν και τεράστιες συμπαγείς οφιολιθικές μάζες. Περιλαμβάνουν λιθολογικά το σύνολο σχεδόν των οφιολιθικών πετρωμάτων: περιδοτίτες, διαβάσης, δολερίτες, τόφφους αυτών, βασάλτες κλπ. Περιέχουν κοιτάσματα ή εμφανίσεις χρωμιτών και

καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος από το δυτικό και νότιο τμήμα της λεκάνης, ανατολικά του οικισμού της Ομβριακής καθώς και νοτιοανατολικά, κάτω από τον οικισμό της Ανάβρας.

5.3 Λιθοστρωματογραφία

Ο παλαιότερος γεωλογικός ορίζοντας που εμφανίζεται εντός της λεκάνης είναι οι οφιόλιθοι, περιδοτίτης και διαβάσης (*Μαρίνος* 1960) ή κατά νεότερους ερευνητές το υπο-οφιολιθικό mélange, ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού, (*Photiades et al.* 2003). Καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση εντός της λεκάνης (*Σούλιος* 1975) και συνιστούν το περιθώριο και το υπόβαθρο του πεδινού τμήματος της λεκάνης (*Κάρμης* 2010). Γενικότερα η Υποπελαγονική ζώνη *Μουντράκης* (1985) παρουσιάζει τρείς διαφορετικές στρωματογραφικές-τεκτονικές διαδοχές των πετρωμάτων της:

1) Αυτή που περιλαμβάνει την οφιολιθική ακολουθία και τα συνοδά ιζήματα βαθιάς θάλασσας χωρίς να παρατηρείται κανένα τεκτονικό υπόβαθρο αυτών.

2) Την ακολουθία στην οποία οι οφιόλιθοι με τα συνοδά ιζήματα βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω σε πελαγικά ανθρακικά πετρώματα.

3) Εκείνη που οι οφιόλιθοι με τα συνοδά ιζήματα βρίσκονται επωθημένοι πάνω σε νηριτικά ανθρακικά πετρώματα τυπικά ηπειρωτικού περιθωρίου.

Οι τρείς αυτές διαδοχές πετρωμάτων δεν έχουν την έννοια τριών διαφορετικών ενοτήτων που αναπτύσσονται σε ξεχωριστούς χώρους, αλλά αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά την εξέλιξη από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά των βαθιών ωκεάνιων συνθηκών ιζηματογένεσης προς τις νηριτικές του ηπειρωτικού περιθωρίου.

Ο *Μιγκίρος* (2005) επιπρόσθετα διέκρινε στην Υποπελαγονική τις ακόλουθες τέσσερεις υποζώνες: (α) Θεόπετρας – Γρεβενών, (β) Μαλιακής, (γ) Βοιωτικής, (δ) Παρνασσού – Γκιώνας. Οι υποζώνες αυτές βρίσκονται προωθημένες η μία επάνω στην άλλη από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά (από την Θεόπετρα - Γρεβενών προς την Παρνασσού - Γκιώνας), ενώ σαν σύνολο έχουν επωθηθεί στη ζώνη της Πίνδου.

Ο ίδιος (1990) βασιζόμενος και σε μελέτες ελλήνων και ξένων μελετητών (*Τρικκαλινός* 1960, *Μαρίνος* 1974, *Τάταρης* 1975, *Ferriere* 1982, *Celet et. al* 1976, *Μιγκίρος κ.αλ.* 1989) κατάταξε τους γεωλογικούς σχηματισμούς της Όθρυος σε τρείς ενότητες:

1. Ενότητα ανατολικής Όθρυος-Χλωμού
2. Ενότητα κεντρικής Όθρυος
3. Ενότητα δυτικής Όθρυος

Το οροπέδιο Δομοκού ανήκει στη Μαλιακή υποζώνη, στο οποίο απαντούν οι ενότητες της δυτικής και κεντρικής Όθρυος των οποίων η λιθοστρωματογραφική ανάλυση (*Μιγκίρος* 1990, Σχήμα 5.4) είναι:

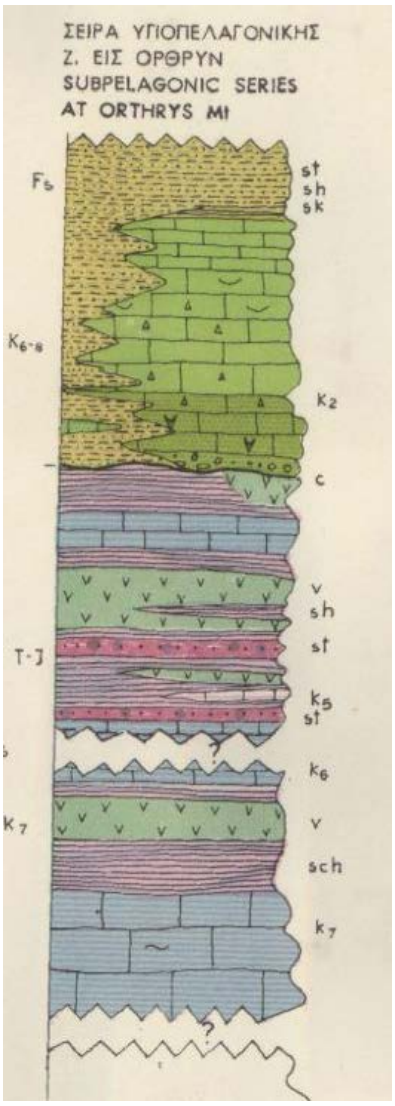
<u>Ενότητα κεντρικής Όθρυος:</u>

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής καταλαμβάνουν το κεντρικό τμήμα της Όθρυος και βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι επάνω στους σχηματισμούς της ανατολικής. Η ενότητα κεντρικής Όθρυος μπορεί να διακριθεί κυρίως στα ακόλουθα σημεία:

(α) Στην παρουσία βασικών ηφαιστειακών πετρωμάτων συνδεδεμένων με ιζηματογενή πετρώματα του Τριαδικού (κυρίως Μέσου), κατά το πλείστον κερατολίθους και αργιλικούς σχιστόλιθους.

(β) Στην παρουσία μιας αργιλοπυριτικής σειράς σχηματισμών παλαιότερης αυτής του Ανωιουρασικού κατά την περίοδο Ανωτέρου Λιασίου–Δογγερίου. Πλευρικά οι σχηματισμοί αυτοί ενώνονται με παράλληλη ιζηματογενή αποσφήνωση των Ιουρασικών ανθρακικών.

(γ) Στην απουσία των Κατωκρητιδικών ψαμμιτοαργιλικών σχηματισμών σε σχέση με την ενότητα της ανατολικής Όθρυος, με αποτέλεσμα τα Ανωκρητιδικά ανθρακικά πετρώματα να υπέρκεινται με επίκλυση, παρουσία εκτεταμένων κροκαλοπαγών βάσης, σχεδόν πάντα οφιολιθικών σχηματισμών.



ml Μολασσικοί σχηματισμοί. – Molassik sediments.
sh Ἀργιλικοὶ σχιστόλιθοι τοῦ φλύσχου. – Shales of the flysch.
st Ψαμμίται. – Sandstones.
sk Ἀσβεστιτικοὶ σχιστόλιθοι. – Calcareous schists.
c Κροκαλοπαγῆ – Conglomerate.
fl Φλυσχοειδῆ–Flysch like sediments.
Fp Φλύσχης Παρνασσοῦ Γκιώνας. – Parnassos Giona flysch.
Fs Φλύσχης ὑποπελαγονικῆς ζώνης.– Flysch of the subpelagonic zone.
sch Σχιστοκερατολιθικὴ διάπλασις μετ' ὀφιολίθων.–Shales-chert group with ophiolites.
v Ὀφιόλιθοι.–Ophiolites.
k_1 Νουμμουλιτοφόροι ἀσβεστόλιθοι.–Nummulitic limestones.
k_2 Ἀσβεστόλιθοι κυρίως μικρολατυποπαγεῖς.– Limestones mainly microbrecciated.
k_3 Μικροκροκαλοπαγεῖς καὶ μικρολατυποπαγεῖς ἀσβεστόλιθοι. Microbrecciated and microconglomeratic limestones.
k_4 Ἀσβεστόλιθοι μεσοστρωματώδεις, συνήθως στιφροι. τεφροχροοι, κατὰ θέσεις ὠολιθικοί. Limestones average bedded, gray, usually dense, localy oolitic.
k_5 Πλακώδεις μικροκρυσταλλικοί, κατὰ τὸ μᾶλλον ἢ ἧττον μαργαϊκοὶ ἀσβεστόλιθοι ἐντὸς τῆς σχιστοκερατολιθικῆς διαπλάσεως.– Flaggy bedded, dense, more or less marly limestones into the shales – chert group.
k_6 Στιφροί, κατὰ θέσεις ὠολιθικοί, σκοτεινότεφροι ἀσβεστόλιθοι. – Dense, locally oolitic, dark gray limestones.
k_7 Ἀσβεστόλιθοι παχυστρωματώδεις ἕως ἄστρωτοι. Limestone thick-bedded to compact.
b Βωξιτικὰ κοιτάσματα διαφόρων ὁριζόντων.
Bauxite ores of varius orizons.

Σχήμα 5.4. Στρωματογραφική στήλη Υποπελαγονικής της Όθρυος από το γεωλογικό χάρτη «Λαμία» (Μαρίνος κ.ά 1967).

(δ) Το Προανωκρητιδικό κάλυμμα και κύρια τα οφιολιθικά πετρώματα, στην κεντρική Όθρυ έχουν την ίδια τεκτονική θέση με αυτά της ανατολικής, είναι πολύ περισσότερα και λιγότερο διαμελισμένα.

Ενότητα δυτικής Όθρυος

Οι σχηματισμοί της δυτικής Όθρυος απαντούν κυρίως στην περιοχή δυτικότερα του άξονα Λαμία-Δομοκός και μπορούν γενικά να διακριθούν με βάση τη λιθοστρωματογραφική και τεκτονική τους δομή σε δύο κύριες ακολουθίες σχηματισμών: οι σχηματισμοί Αρχάνι–Ανάβρα (Καρδίτσας) και οι σχηματισμοί Άγιος Γεώργιος–Λαμία. Στην περιοχή έρευνας απαντούν οι σχηματισμοί Άγιος Γεώργιος–Λαμία οι οποίοι μπορούν να συγκριθούν τόσο με λιθοστρωματογραφικά μέλη των σχηματισμών Αρχανίου–Ανάβρας όσο και με σχηματισμούς της ενότητας κεντρικής Όθρυος:

(α) Η παρουσία κατά θέσεις ηφαιστειακών βασικών πετρωμάτων συνδεδεμένων με τους Κάτω–Μεσοτριαδικούς σχηματισμούς τους κάνει να προσομοιάζουν με αυτούς της κεντρικής Όθρυος.

(β) Το ανθρακικό Τριαδικό το οποίο υπέρκειται των σχηματισμών αυτών καθώς και η προς τα επάνω εξέλιξή του (κυρίως κατά το Λιάσιο), με εναλλαγές κερατολίθων, αργιλικών

σχιστόλιθων και ασβεστόλιθων, τους κάνει να αποτελούν ισοδύναμους σχηματισμούς τόσο αυτών του Αρχανίου όσο και αυτών της κεντρικής Όθρυος.
(γ) Οι σχηματισμοί Αγίου Γεωργίου στη λιθοστρωματογραφική τους εξέλιξη κατά το Ανώτ. Ιουρασικό–Κατώτ. Κρητιδικό διαφοροποιούνται από αυτούς του Αρχανίου στη μεγαλύτερη παρουσία διαμελισμένων οφιολιθικών (κυρίως λάβες και υπερβασικά) και ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών. Στην προς τα πάνω εξέλιξη των σχηματισμών αυτών έχουμε την παρουσία Ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων και τελικά φλύσχη που ισοδυναμούν με αυτά των σχηματισμών Αρχανίου–Ανάβρας.

5.4 Τεκτονική Δομή

Η Όθρυς συνίσταται κυρίως από δύο επιμήκη αντίκλινα μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται το σύγκλινο επίμηκες οροπέδιο του Δομοκού που αποτελεί τον πυρήνα του σύγκλινου. Η Όθρυς συμπεριλαμβανομένου και του οροπεδίου έχουν υποστεί τεκτονικές επιδράσεις τριών διαφορετικών ενοτήτων, της πελαγονικής, της ενότητας Παρνασσού–Γκιώνας και της Πίνδου, πέραν των τεκτονικών δυνάμεων που έδρασαν εντός της ίδιας της Όθρυος. Χαρακτηριστικό της τεκτονικής της λεκάνης είναι η πτυχωσιγενής τεκτονική απουσία λεπιώσεων (*Σούλιος* 1975).

Σύμφωνα με τον *Μουντράκη* (1985), η ορογενετική περίοδος ανώτερου Ιουρασικού-κάτω Κρητιδικού είχε σαφή επίδραση στην Υποπελαγονική και προκάλεσε την ανάδυση των προ-Κρητιδικών σχηματισμών. Οι πτυχές της περιόδου αυτής έχουν βασικό γνώρισμα την ασύμμετρη απόκλιση προς τα ανατολικά και τη σύνδεσή τους με την επώθηση των οφιόλιθων από το δυτικό ωκεάνιο χώρο της Υποπελαγονικής προς τα ανατολικά πάνω στο περιθώριο της Πελαγονικής.

Στην Όθρυ η νεώτερη συμπιεστική τεκτονική που έλαβε χώρα με το τέλος του Ηωκαίνου έδωσε εκτεταμένα καλύμματα της ενότητας της κεντρικής Όθρυος επί της δυτικής και της ανατολικής. Μπορούν να διακριθούν δύο κύριες φάσεις συμπιεστικής τεκτονικής οι οποίες εκδηλώνονται με πτυχές, σχιστοποίηση και κερματισμό των αλπικών σχηματισμών, καθώς και με παρουσία ολισθήσεων, εφιππεύσεων και επωθήσεων (*Μιγκίρος* 1990):
1) Η πρώτη και παλαιότερη Ιουρασική συμπιεστική τεκτονική φάση που αναγνωρίζεται στην ανατολική και κεντρική Όθρυ έχει επηρεάσει τόσο τους οφιολιθικούς σχηματισμούς όσο και τους υποκείμενούς τους σχηματισμούς και εκδηλώνεται κυρίως με:
(α) Πτύχωση των προ-Κρητιδικών σχηματισμών με παρουσία κλειστών πτυχών, κυρίως ανεστραμμένων έως και κατακεκλιμένων, αξονικής διεύθυνσης Β 30-40° Δ και μέσης βύθισης του αξονικού τους επίπεδου 20-30° προς τα ΒΑ/κά.
(β) Δημιουργία τεκτονικών ασυνεχειών με κύρια γράμμωση γενικής διεύθυνσης Β 40-60° Α και δευτερεύουσα ΒΝ περίπου. Η μέση κλίση των επιφανειών είναι 20-45° προς τα ΒΑ/κά. Στη βάση των τεκτονικών αυτών ασυνεχειών παρατηρούνται συχνά ζώνες μικρού πάχους τεκτονικών λατυποπαγών και εντονότατη παραμόρφωση. Οι χρωμιτικές συγκεντρώσεις, σε φακοειδή μορφή, σε όλη την περιοχή της Όθρυος απαντούν στις ζώνες έντονης παραμόρφωσης διευθετημένες παράλληλα με την έντονη σχιστοποίηση των υπερβασικών μαζών που συνδέονται με αυτή τη συμπιεστική φάση.
2) Η δεύτερη, είναι η νεότερη (Ηωκαινική), έχει επηρεάσει όλες τις ενότητες σχηματισμών που δομούν την ευρύτερη περιοχή της Όθρυος και εκδηλώνεται με:
(α) Κλειστές πτυχές αξονικής διεύθυνσης Β 60-120° και μέσης βύθισης του αξονικού τους επιπέδου 45-70°, γενικά προς τα βόρεια.
(β) Ασυνεχείς τεκτονικές επιφάνειες, οι οποίες συχνά λεπιώνουν έντονα το σύνολο των σχηματισμών.

Οι ασυνεχείς τεκτονικές επιφάνειες μπορούν να διακριθούν σε:
1) Καλύμματα και λεπιώσεις των σχηματισμών στη διεύθυνση Β 60-130° που προήλθαν από μία γενικά βόρεια συμπίεση με μέση κλίση των τεκτονικών επιφανειών 50° προς τα βόρεια.

2) Εφιππεύσεις μεγάλης γωνίας έως ανάστροφα ρήγματα στη διεύθυνση Β 340-10°, οι οποίες είναι αποτέλεσμα εφαπτομενικών κινήσεων με παράλληλη στρέψη των σχηματισμών σαν αποτέλεσμα βόρειας ώθησης. Κατά το πλείστον στην περιοχή της Όθρυος έχουμε αριστερόστροφη στρέψη.
3) Ανάστροφα ρήγματα και τοπικά εφιππεύσεις μεγάλης γωνίας κατά μήκος μεγάλων τεκτονικών γραμμών με έντονη οριζόντια μετατόπιση. Στην περιοχή της Όθρυος οι γραμμές αυτές έχουν μια διεύθυνση Α-Δ με γενική κλίση προς τα βόρεια.

5.5. Σεισμικότητα

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στην περιοχή που οριοθετείται από τη Θεσσαλία μέχρι τον κορινθιακό κόλπο και χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα λόγω του εφελκυσμού που επικρατεί. Η παράταξη τους είναι ΔΒΔ-ΑΝΑ ή Α-Δ (*Papazachos et al*. 1998). Κατά τους *Ambraseys and Jackson* (1990) η περιοχή χωρίζεται σε δύο σεισμικές ζώνες. Η πρώτη περιλαμβάνει την περιοχή της νότιας Θεσσαλίας μέχρι την Εύβοια και η δεύτερη βρίσκεται κατά μήκος του Κορινθιακού κόλπου.

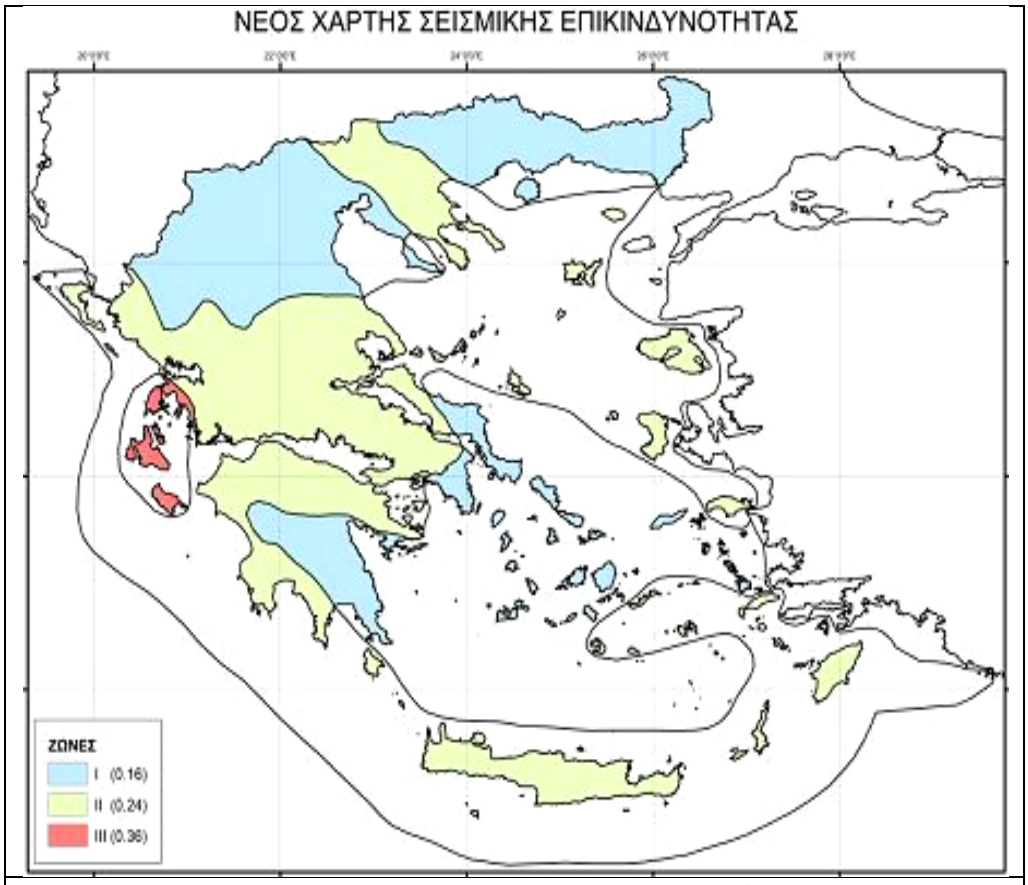
Η περιοχή της νότιας Θεσσαλίας αποτελεί μια σεισμικά ενεργή ζώνη, στην οποία κυριαρχούν πολλά παράλληλα αντιθετικά ρήγματα που οριοθετούν τις Νεογενείς και Τεταρτογενείς λεκάνες. Η ύπαρξη μιας δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης κίνησης κατά μήκος της ζώνης των ρηγμάτων κατά το Μειόκαινο προήλθε από το συνδυασμό της προέκτασης προς τα δυτικά του ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας με τη ζώνη ρηγμάτων της νότιας Θεσσαλίας. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί τη μεγάλη σεισμικότητα που επικρατεί στην νότια Θεσσαλία σε σχέση με το βόρειο τμήμα της (*Mountrakis et al*., 1993). Λόγω του εφελκυστικού πεδίου των τάσεων που επικρατεί στην περιοχή και το οποίο μεταβάλλεται χωρικά είναι φανερό, ότι τα ρήγματα που υπάρχουν έχουν διεύθυνση Α–Δ και ΔΒΔ–ΑΝΑ (*Caputo and Pavlides* 1993).

Το οροπέδιο Δομοκού εντάσσεται σε ζώνη υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 2000 (*http://www.oasp.gr*, Σχήμα 5.5), αν και εντός της λεκάνης δεν τοποθετείται κανένα σημαντικό σεισμικό επίκεντρο (*Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας* 1989). Σημαντικά σεισμικά επίκεντρα τοποθετούνται Β, ΒΔ και ΒΑ του οροπεδίου Δομοκού στην περιοχή της Θεσσαλίας και στον άξονα Νέα Αγχίαλος-Σοφάδες διεύθυνσης Α-Δ. Αυτά εντάσσονται στην εντατική ενεργή ριξηγενή δομή που αναπτύσσεται παράλληλα και στο χώρο των κυρίαρχων σεισμικών επικέντρων.

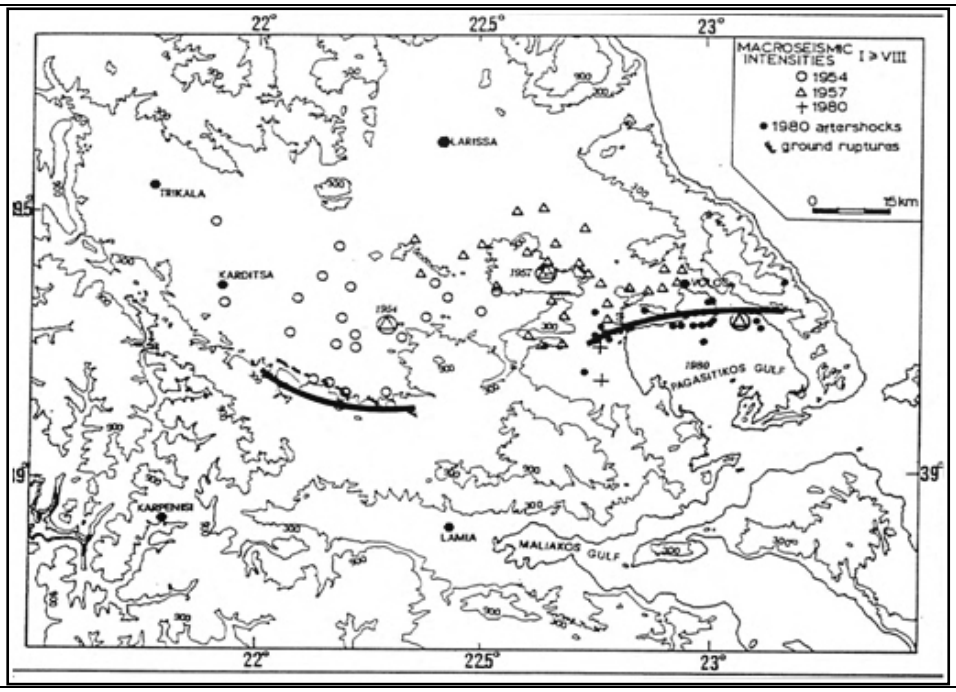
Τα κυριότερα (*http://www.oasp.gr*) καταγεγραμμένα σεισμικά γεγονότα της τελευταίας χρονικής περιόδου που επηρέασαν την περιοχή ήταν:
i) Σοφάδες 1954: 30 Απριλίου 1954 σεισμική δόνηση (M=7,0) προκάλεσε πολλές καταστροφές στους νομούς Καρδίτσας, Λάρισας, Τρικάλων, Φθιώτιδας, Μαγνησίας και Ευρυτανίας. Ο απολογισμός του σεισμού ήταν 25 άνθρωποι νεκροί ενώ 28.673 κτίρια υπέστησαν βλάβες (6.599 καταστράφηκαν). Ο σεισμός ήταν ένας από τους ισχυρότερους που έχουν καταγραφεί στον Ηπειρωτικό Ελλαδικό χώρο. Το συνολικό μήκος του ρήγματος των Σοφάδων έχει εκτιμηθεί ότι είναι της τάξεως των 50 km, η δε μέση μετατόπιση του στον σεισμό του 1954 ήταν 1.8 m (*Ambraseys & Jackson*, 1990).

Στο νομό Καρδίτσας το χωριό Σοφάδες καταστράφηκε σχεδόν ολοκληρωτικά ενώ τα χωριά Πασχαλίτσα, Νέο Ικόνιο, Ασημοχώρι, Γραμματικό, Οθωμανικό κ.α. υπέστησαν σοβαρές ζημιές. Παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης, υδρογεωλογικές μεταβολές και διαρρήξεις εδάφους (η μεγαλύτερη από τις οποίες είχε μήκος 5km και διέκοψε τη γραμμή του τρένου). Ο μεγαλύτερος προσεισμός έγινε στις 25 Απριλίου (M=4,6) ενώ ο μεγαλύτερος μετασεισμός στις 4 Μαΐου (M=5,7).
ii) Βελεστίνο 1957: Ο σεισμός (M=6,8) εκδηλώθηκε στο ρήγμα των Φαρσάλων. Λίγα λεπτά πριν τον κύριο σεισμό είχε εκδηλωθεί ισχυρός (M=6,5) προσεισμός οι συνέπειες του οποίου δε μπορούν να διακριθούν από εκείνες του κυρίου σεισμού. Ακολούθησε σειρά

μετασεισμών με το μεγαλύτερο να σημειώνεται (M=6,0) έντεκα ώρες μετά την κύρια δόνηση.



Σχήμα 5.5. Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (*http://www.oasp.gr*).



Σχήμα 5.6. Οι μακροσεισμικές εντάσεις και τα ρήγματα από τους σεισμούς του 1954, 1957 και 1980 που εκδηλώθηκαν στην περιοχή της Θεσσαλίας (*Papazachos et al.* 1993).

iii) Λίμνη Κρεμαστών 1966: Ο σεισμός (Μ=6,2) που έπληξε την Ευρυτανία στις 5 Φεβρουαρίου του 1966 προκάλεσε βλάβες κυρίως στην περιοχή της τεχνητής λίμνης Κρεμαστών. Ένας άνθρωπος νεκρός, 60 τραυματίστηκαν και 731 κτίρια καταστράφηκαν, ενώ 6358 υπέστησαν βλάβες που προκλήθηκαν κυρίως από κατολισθήσεις. Ο μεγαλύτερος προσεισμός (Μ=4,7) εκδηλώθηκε στις 31 Ιανουαρίου. Μετά τον κύριο σεισμό ακολούθησαν πολλοί μετασεισμοί ο μεγαλύτερος των οποίων (Μ=5,3) έγινε την ίδια ημέρα με τον κύριο σεισμό.

iv) Αλμυρός 1980: Στις 9 Ιουλίου 1980 εκδηλώθηκε ισχυρός σεισμός εντάσεως 6,3 της κλίμακας Richter που είχε το επίκεντρο του στον Παγασητικό κόλπο. Επλήγησαν κυρίως οι νομοί Μαγνησίας, Φθιώτιδας και Λάρισας. Τραυματίστηκαν 24 άνθρωποι, 5.222 κτίρια καταστράφηκαν, 14.726 υπέστησαν σοβαρές βλάβες και 10688 μικρότερες. Στον Αλμυρό, τη Νέα Αγχίαλο και το Αϊδίνι παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες εντάσεις και οι περισσότερες βλάβες σε κτίρια, ζημιές όμως υπέστησαν και κτίρια στο Βόλο. Τα Φάρσαλα, η Λαμία και χωριά των νομών Καρδίτσας, Λάρισας και Φθιώτιδας επλήγησαν λιγότερο. Στη Νέα Αγχίαλο παρατηρήθηκαν μικρές ρωγμές στο έδαφος. Σεισμοί προηγήθηκαν του κυρίου σεισμού ο μεγαλύτερος από αυτούς έγινε μόλις 1,5min πριν και είχε μέγεθος 5,4. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός είχε μέγεθος 6,1 (Σχήμα 5.6).

6. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

6.1 Γενικά

Η γνώση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας υδρολογικής λεκάνης είναι πρωταρχικής σημασίας για την κατανόηση των ποσοτικών μεταβολών και των εποχικών διακυμάνσεων της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της, καθώς και για τον καθορισμό των βασικών περιοχών ανάπτυξης της.

Απαραίτητη προϋπόθεση για αυτό αποτελεί ο υπολογισμός των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου τα οποία είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η εξατμισοδιαπνοή, η κατείσδυση και η απορροή.

6.2 Βροχόπτωση

Ό όρος κατακρημνίσματα περιλαμβάνει όλες τις μορφές (βροχή, χιόνι, χαλάζι κλπ), με τις οποίες το νερό φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους και αποτελούν μέρος του υδρολογικού κύκλου του. Η μορφή των κατακρημνισμάτων με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η βροχή, γιατί και συνηθέστερη είναι και ποσοτικά υπερέχει πολύ των άλλων κατακρημνισμάτων (*Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος* 1999). Η ετήσια πορεία των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή προσδιορίζει τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σ' αυτήν, ενώ καθοριστικός είναι ο ρόλος της στη διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου της συγκεκριμένης περιοχής.

Για τον υπολογισμό του μέσου υπερετήσιου ύψους, την ανάλυση και τη χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων του οροπεδίου Δομοκού έγινε συλλογή και αξιοποιήθηκαν δεδομένα από πέντε βροχομετρικούς σταθμούς. Χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία βροχοπτώσεων της περιόδου αναφοράς 1995-2010 της κοινής λειτουργίας των σταθμών του ΥΠΕΚΑ Μακρυράχης, Τρίλοφου, Σκοπιάς και των σταθμών του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων Ομβριακής και Ανάβρας με ικανοποιητική γεωγραφική κατανομή (Πίνακας 6.1, Σχήμα 6.1). Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των σταθμών καταγράφηκαν με το GPS Dakota 20 της Garmin, ενώ οι αναλυτικοί πίνακες των βροχομετρικών δεδομένων τους παρατίθενται στο παράρτημα Ι.

Πίνακας 6.1. Βροχομετρικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής του οροπεδίου Δομοκού.

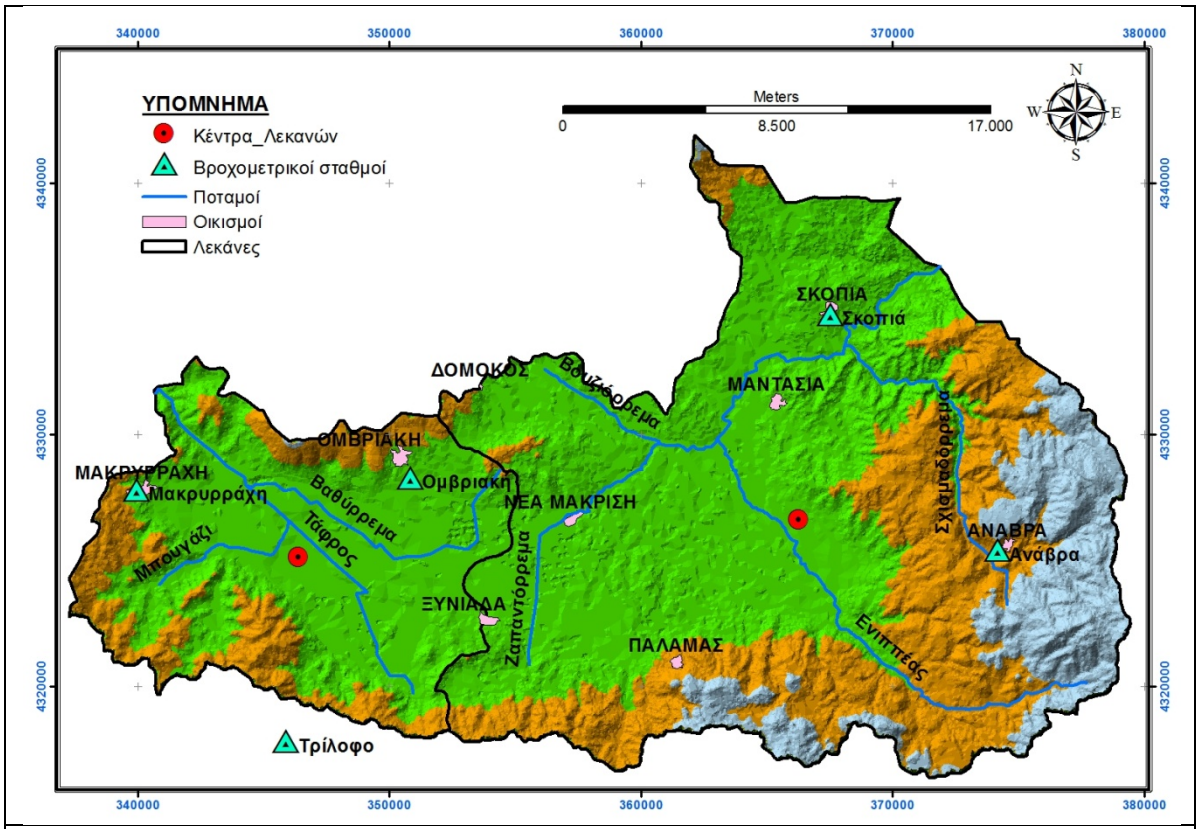
α/α	Σταθμός	Υπηρεσία	Υψόμετρο (m)	X	Y
1	Μακρυρράχη	ΥΠΕΚΑ	574	339939	4327814
2	Τρίλοφο	-//-	571	345894	4317819
3	Σκοπιά	-//-	446	367512	4334791
4	Ομβριακή	Υ.ΑΓ.ΑΝ.&ΤΡ.	505	350816	4328291
5	Ανάβρα	-//-	749	374170	4325415

6.2.1 Συμπλήρωση κενών παρατηρήσεων και έλεγχος ομοιογένειας δεδομένων

Οι χρονοσειρές βροχόπτωσης πριν την περαιτέρω χρησιμοποίησή τους ελέχθησαν για τη συνέπειά τους και την ύπαρξη κενών τιμών, καθώς η έλλειψη μετρήσεων σε βροχομετρικά δείγματα είναι ένα συχνό φαινόμενο. Οφείλεται κυρίως σε περιοδική διακοπή λειτουργίας των σταθμών, σε βλάβες οργάνων και σε αμέλεια ή κωλύματα των παρατηρητών. Από τους πέντε βροχομετρικούς σταθμούς διαπιστώθηκαν ελλείψεις στα δεδομένα των σταθμών Ομβριακής και Ανάβρας.

Η συμπλήρωσή τους (Regression and Infilling) πραγματοποιήθηκε με απλή γραμμική παλινδρόμηση (Linear Regression). Οι κενές τιμές συμπληρώθηκαν με βάση την πλήρη χρονοσειρά γειτονικού σταθμού αναφοράς και αφού πρώτα είχε διαπιστωθεί ο ισχυρός βαθμός συσχέτισης μεταξύ των δύο σταθμών με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Με αυτόν τον τρόπο έγινε η συμπλήρωση της χρονοσειράς του σταθμού της Ομβριακής, με

βάση αυτή της Μακρυράχης και της Ανάβρας με βάση τη χρονοσειρά της Σκοπιάς, καθώς διαπιστώθηκε η υψηλότερη μεταξύ τους συσχέτιση. Στη συνέχεια έγινε αποκατάσταση ομοιογένειας για τα δεδομένα του σταθμού της Ανάβρας με βάση τη χρονοσειρά της Σκοπιάς με την μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης (Double Mass Curve), ενώ η ομοιογένειά των υπολοίπων χρονοσειρών κρίθηκε ικανοποιητική. Όλοι οι ανωτέρω υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό διαχείρισης, επεξεργασίας και ανάλυσης υδρολογικής πληροφορίας «Υδρογνώμων» (έκδοση 4.1.0 (.26) ΙΤΙΑ ερευνητική ομάδα Ε.Μ.Π., τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος) (*http://www.gnu.org/licenses/gpl.html*-(θεωρητική τεκμηρίωση) *Κοζάνης κ.ά.* 2010).



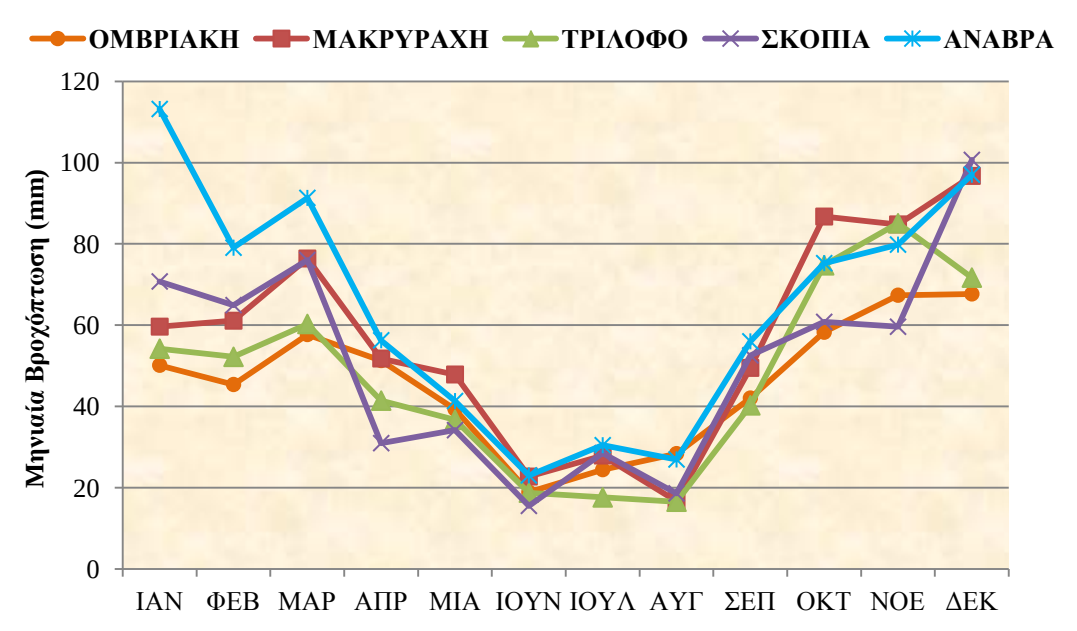
Σχήμα 6.1. Γεωγραφική κατανομή των βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας.

Πίνακας 6.2. Μέση μηνιαία και ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) για τους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας.

Σταθμός	**Ι**	**Φ**	**Μ**	**Α**	**Μ**	**Ι**	**Ι**	**Α**	**Σ**	**Ο**	**Ν**	**Δ**	**Έτος**
Ομβριακή	50,1	45,4	57,7	51,3	39,3	18,9	24,4	28,4	42,0	58,3	67,4	67,7	550,7
Μακρυράχη	59,6	61,1	76,4	51,8	47,8	22,7	27,9	16,7	49,5	86,7	84,8	96,7	681,7
Τρίλοφο	54,2	52,2	60,3	41,4	36,7	18,8	17,6	16,5	40,3	74,7	85,1	71,7	569,3
Σκοπιά	72,5	64,9	76,0	30,9	34,1	15,5	28,5	18,6	52,6	60,8	59,6	100,7	614,7
Ανάβρα	114,8	79,1	91,3	56,3	41,3	23,0	30,4	26,9	56,0	75,2	79,8	97,0	771,1
Μέση Τιμή	70,2	60,5	72,3	46,3	39,8	19,8	25,8	21,4	48,1	71,1	75,3	86,8	

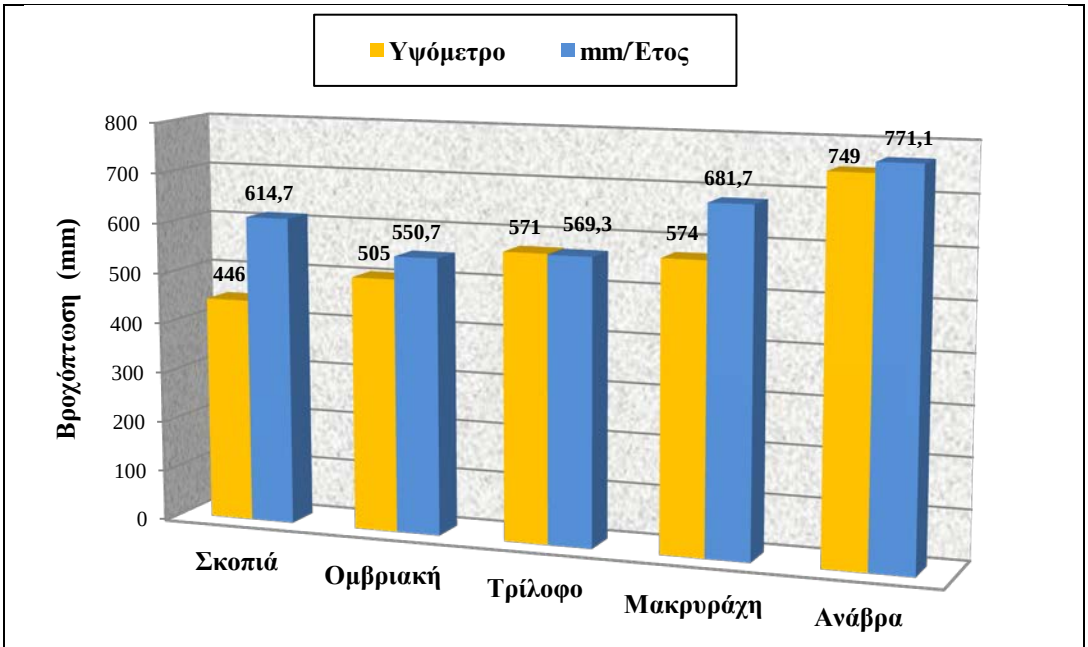
Στον πίνακα 6.2 δίνεται η μέση μηνιαία και η ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) ανά σταθμό ενώ με βάση τα στοιχεία του δημιουργήθηκε το σχήμα 6.2 της μηνιαίας μεταβολής της βροχόπτωσης για την περίοδο αναφοράς 1995-2010, για κάθε σταθμό. Ο Δεκέμβριος με 86,8 mm βροχής είναι ο μήνας με την μεγαλύτερη βροχόπτωση και ακολουθεί ο Νοέμβριος

και ο Μάρτιος με 75,3 και 72,3 mm βροχής αντίστοιχα. Ο Ιούνιος και ο Αύγουστος είναι οι ξηρότεροι μήνες του έτους με 19,8 και 21,4 mm βροχής αντίστοιχα. Χαρακτηριστική είναι η κλιμακούμενη αύξηση της βροχόπτωσης από τον Αύγουστο μέχρι το Δεκέμβριο, με μια ισοκατανομή του όγκου των κατακρημνισμάτων τον Οκτώβριο και το Νοέμβριο.



Σχήμα 6.2. Μέση μηνιαία μεταβολή βροχόπτωσης της περιόδου αναφοράς.

Η αύξηση της βροχόπτωσης με το υψόμετρο παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3 από όπου προκύπτει εξαίρεση της συσχέτιση αυτής για τους σταθμούς της Ομβριακής και του Τριλόφου. Οι σταθμοί αυτοί με μεγαλύτερο υψόμετρο από αυτόν της Σκοπιάς παρουσιάζουν μικρότερο ποσό κατακρημνισμάτων. Το γεγονός αποδίδεται στο διαφορετικό μορφολογικό ανάγλυφο και μικρόκλιμα των σταθμών, καθώς και στη θέση του σταθμού της Σκοπιάς, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τις κεντρικές κορυφές της Όθρυος.



Σχήμα 6.3. Ραβδογράμματα συσχέτισης βροχόπτωσης με το υψόμετρο βροχομετρικών σταθμών.

6.2.2 Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης

Ο υπολογισμός της επιφανειακής ολοκλήρωσης σημειακών βροχοπτώσεων είναι η διαδικασία που εκτιμά ένα μέσο επίπεδο βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι, οι κυριότεροι των οποίων είναι: α) της άμεσης ολοκλήρωσης που περιλαμβάνουν τον αριθμητικό μέσο, τα πολύγωνα Thiessen, των δύο αξόνων (Bethlahym's) και την υψομετρική μέθοδο, β) της προσαρμογής των επιφανειών με ισοπληθείς καμπύλες και γ) της προσαρμογής των επιφανειών με ψηφιδωτή διαμέριση που περιλαμβάνει βέλτιστη παρεμβολή (Kriging) των ελαχίστων τετραγώνων με πολυώνυμα, των πολυώνυμων Lagrange, της παρεμβολής Spline, της πολυτετραγωνικής παρεμβολής και της μεθόδου των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων [Inverse Distance Weighting (IDW)] (*Μαμάσης και Κουτσογιάννης* 1999).

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η άμεση ολοκλήρωση με συνδυασμό της υψομετρικής και της μεθόδου των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων καθώς αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες των Γ.Σ.Π και του «Υδρογνώμων» (*http://www.gnu.org/licenses/gpl.html*-(θεωρητική τεκμηρίωση) *Κοζάνης κ.ά.* 2010).

6.2.2.1 Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς

Στον πίνακα της βασικής φόρμας της επιφανειακής βροχόπτωσης του προγράμματος εισήχθησαν σε χωριστή διαδικασία για κάθε μια λεκάνη οι μηνιαίες χρονοσειρές των πέντε βροχομετρικών σταθμών, το υψόμετρο τους, οι συντεταγμένες τους (Χ και Υ) και το μέσο υψόμετρό τους. Επιπλέον έγινε εισαγωγή των συντεταγμένων των κέντρων των δύο λεκάνων και το μέσο υψόμετρο τους, όπως είχαν προσδιοριστεί με τα Γ.Σ.Π. Με τη μέθοδο της αντιστρόφου απόστασης (IDW) και βάση των στοιχείων αυτών υπολογίστηκε ο συντελεστής βαρύτητας του κάθε σταθμού και το μέσο σταθμισμένο υψόμετρό τους. Στη συνέχεια και με την επιλογή «Calculate gradient» έγινε ο υπολογισμός της βροχομετρικής βαθμίδας (Gradient), του συντελεστή συσχέτισης (Correlation), του σταθερού όρου της ευθείας παλινδρόμησης (Constant term) και του τελικού συντελεστή υψομετρικής αναγωγής (Altitude reduction factor).

Στα σχήματα 6.4α-β και στο διάγραμμα της βροχομετρικής βαθμίδας η καφέ ευθεία είναι η ευθεία παλινδρόμησης, που με βάση τα ανωτέρω υπολογισθέντα στοιχεία δίνεται από την σχέση:

$$Y=0,0524*X+23,304 \text{ με συντελεστή συσχέτισης } r=0,793$$

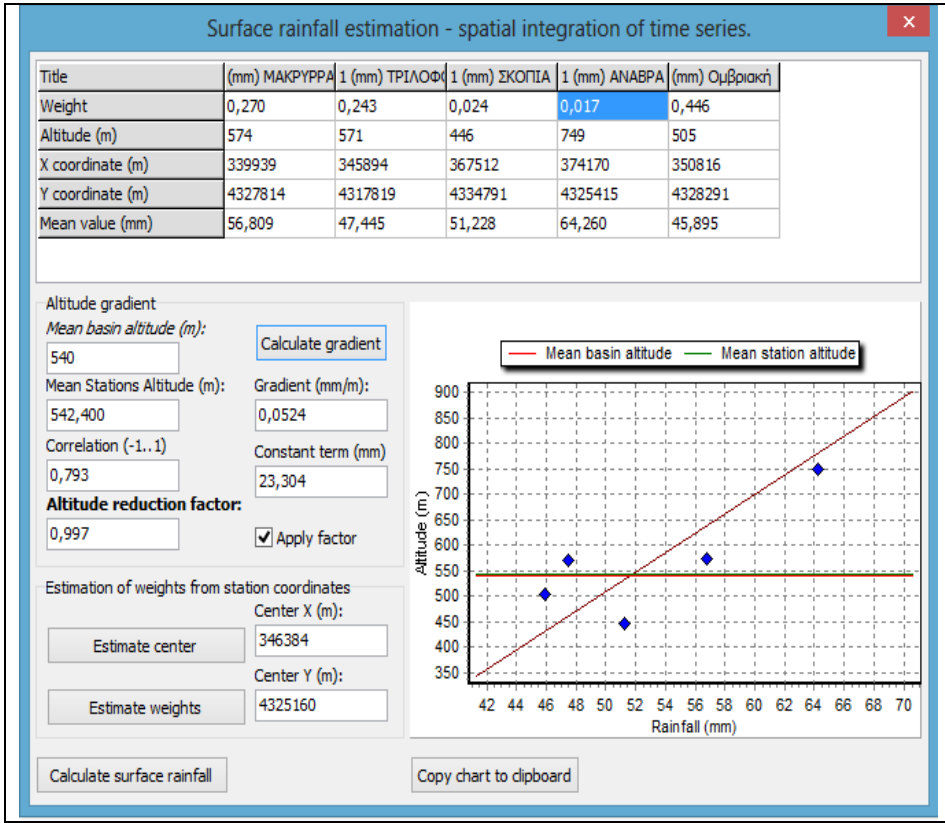
Το μέσο υψόμετρο των σταθμών απεικονίζεται από την πράσινη ευθεία, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης από την κόκκινη ευθεία και τα μπλε σημεία είναι τα σημεία μέτρησης της βροχόπτωσης. Οι συντελεστές υψομετρικής αναγωγής λ=0,997 για την λεκάνη Ξυνιάδας και λ=1,038 για την λεκάνη Σκοπιάς προκύπτουν λόγω της διαφοράς του μέσου σταθμισμένου υψομέτρου των σταθμών με το μέσο υψόμετρο της κάθε μιας λεκάνης.

Τέλος, με την επιλογή «Calculate surface rainfall» δημιουργήθηκαν οι χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης της περιόδου αναφοράς 1995-2010 των δύο λεκανών, των οποίων οι μέσες μηνιαίες και οι ετήσιες τιμές βροχόπτωσης δίνονται στο πίνακα 6.3, ενώ οι αναλυτικές μηνιαίες και ετήσιες χρονοσειρές στο παράρτημα Ι.

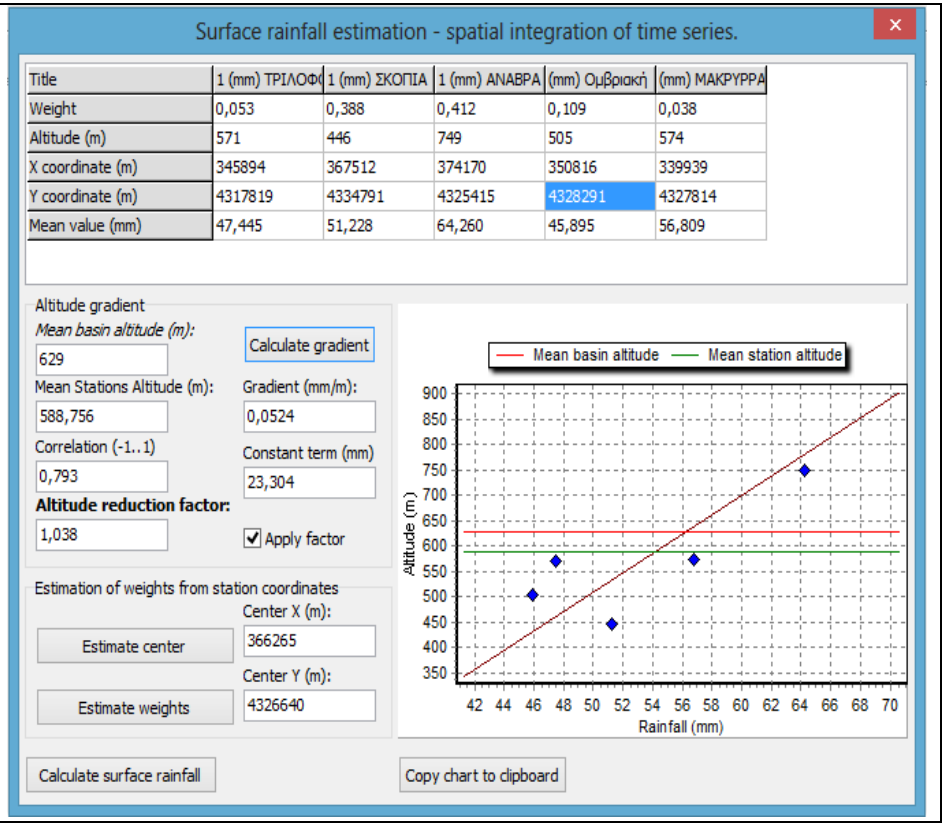
Πίνακας 6.3. Μέση μηνιαία και ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση (mm) λεκάνων Ξυνιάδας και Σκοπιάς.

Λεκάνη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Ξυνιάδας	55,14	52,16	64,18	48,46	40,77	19,81	23,82	22,02	43,96	70,08	76,16	77,55	**594,1**
Σκοπιάς	89,29	70,36	82,53	46,64	39,77	20,14	29,32	23,78	54,04	70,78	73,78	97,45	**697,9**

6.2.2.2 Κατανομή βροχόπτωσης

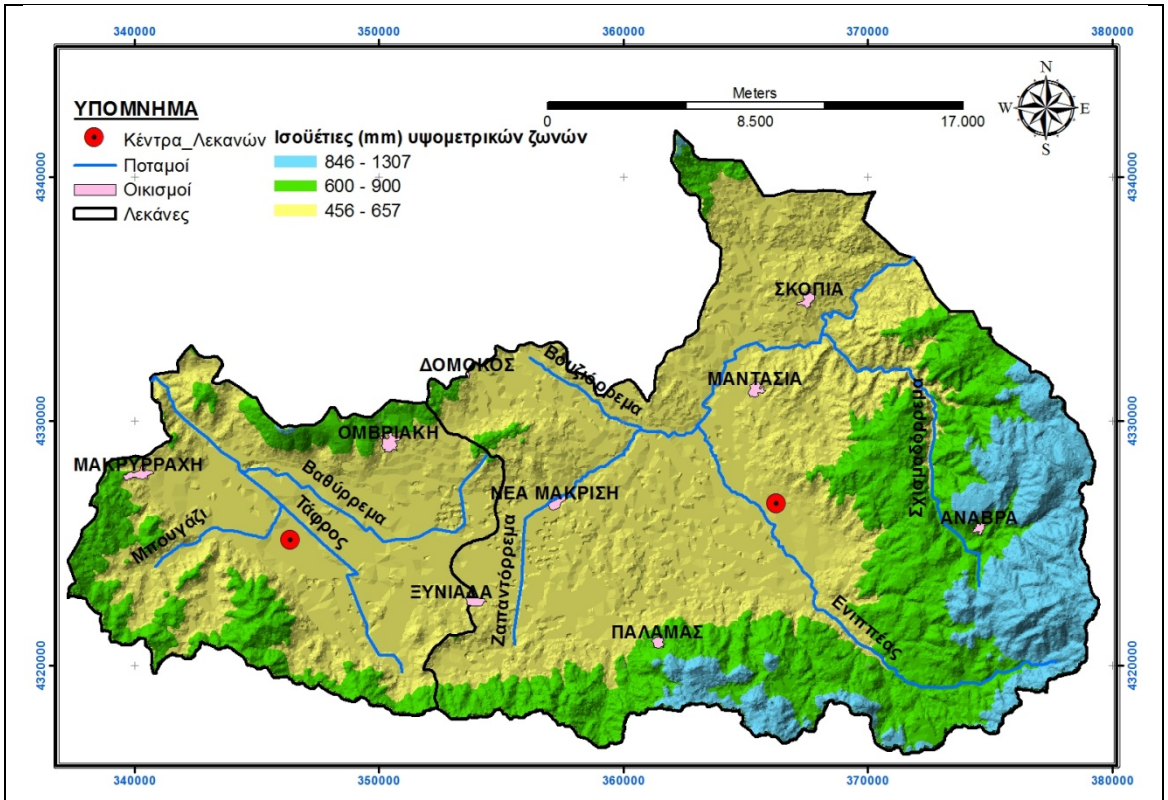


Σχήμα 6.4α. Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης λεκάνης Ξυνιάδας.



Σχήμα 6.4β. Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης λεκάνης Σκοπιάς.

Από την σχέση βροχόπτωσης-υψομέτρου (Y=0,0524*X+23,304) που υπολογίζει τη βροχόπτωση σε κάθε υψόμετρο δημιουργήθηκε χάρτης ισοϋιέτιων καμπυλών ανά υψομετρική ζώνη όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τη γεωμορφολογική ανάλυση (Σχήμα 6.5). Αξιοσημείωτη είναι η ανομοιόμορφη κατανομή της βροχόπτωσης μεταξύ των υψομετρικών ζωνών, γεγονός που σχετίζεται με την αύξηση του υψομέτρου.



Σχήμα 6.5. Χωρική κατανομή επιφανειακής βροχόπτωσης στην λεκάνη Οροπεδίου Δομοκού.

6.3 Θερμοκρασία

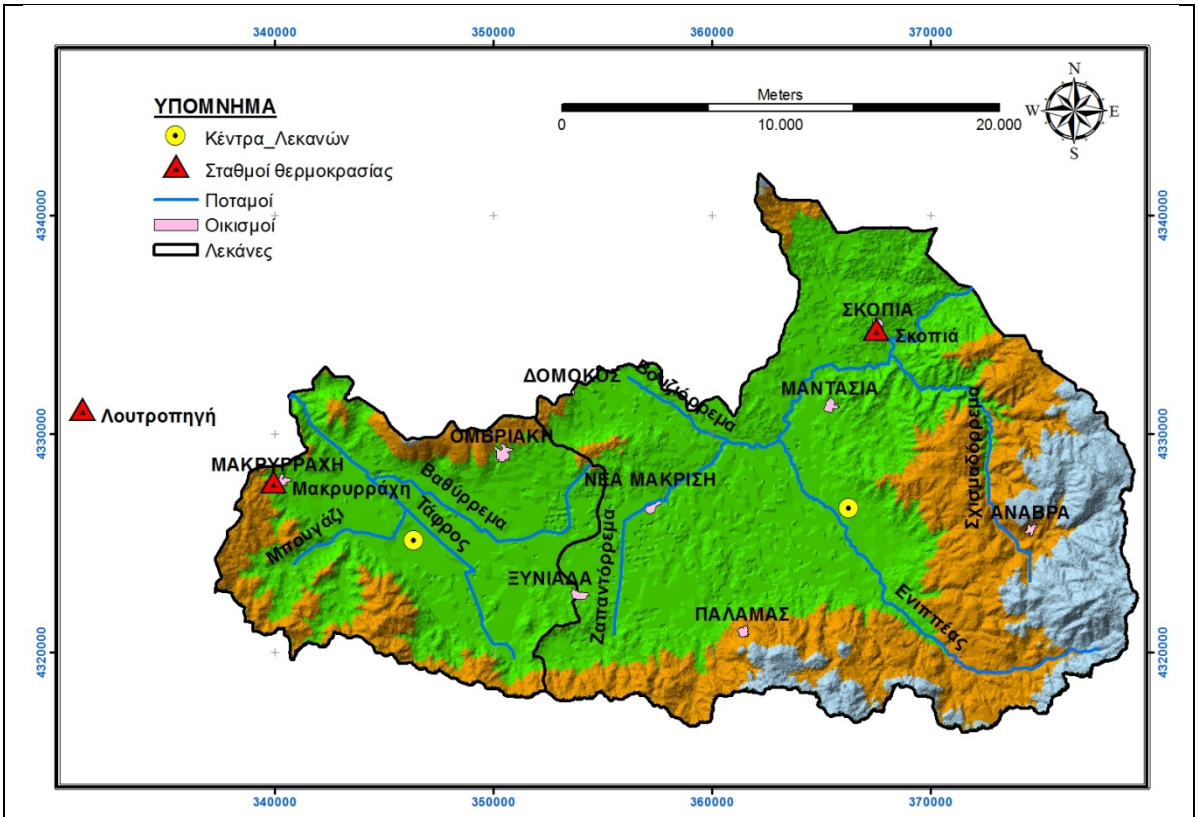
Η θερμοκρασία είναι από τα σημαντικότερα κλιματολογικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής και του υδρολογικού ισοζυγίου, στην εκάστοτε περιοχή έρευνας. Για τον υπολογισμό της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας κάθε λεκάνης, αξιοποιήθηκαν στοιχεία από τρείς μετεωρολογικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα θερμοκρασίας της περιόδου αναφοράς 1996-2010 της κοινής λειτουργίας των σταθμών του ΥΠΕΚΑ Μακρυράχης, Σκοπιάς και Λουτροπηγής (Πίνακας 6.4, Σχήμα 6.6).

Πίνακας 6.4. Μετεωρολογικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής του οροπεδίου Δομοκού.

α/α	Σταθμός	Υπηρεσία	Υψόμετρο (m)	X	Y
1	Μακρυράχης	ΥΠΕΚΑ	574	339939	4327814
2	Λουτροπηγής	-//-	730	331211	4331131
3	Σκοπιάς	-//-	446	367512	4334791

Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των σταθμών καταγράφηκαν με το GPS Dakota 20 της Garmin. Τα δεδομένα ήταν πλήρη χωρίς κενές τιμές και η ομοιογένειά τους με τη μέθοδο της διπλής αθροιστικής καμπύλης (Double Mass Curve) κρίθηκε ικανοποιητική. Οι αναλυτικοί πίνακες των θερμοκρασιακών δεδομένων παρατίθενται στο παράρτημα Ι. Η ανά σταθμό μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (^{o}C) καθώς και η μηνιαία μεταβολής

της για την περίοδο αναφοράς 1996-2010 δίνονται στον πίνακα 6.5 και στο σχήμα 6.7 αντίστοιχα. Ο Ιανουάριος είναι ο ψυχρότερος μήνας του έτους και ο Ιούλιος ο θερμότερος και για τους τρείς σταθμούς, με χαμηλότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία 4,11 ^{o}C στο σταθμό της Λουτροπηγής και υψηλότερη 25,99 ^{o}C στο σταθμό της Μακρυράχης.



Σχήμα 6.6. Γεωγραφική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή έρευνας.

Πίνακας 6.5. Μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (^{o}C) για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής έρευνας.

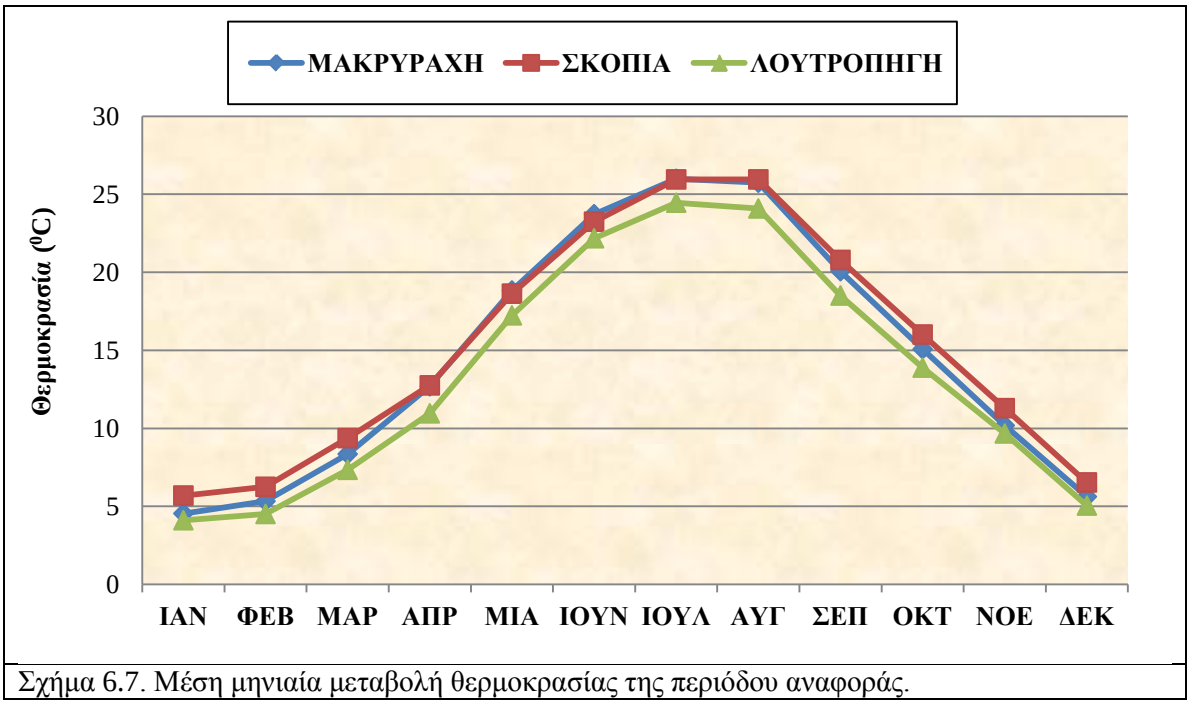
Σταθμός	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Μακρυράχης	4,54	5,33	8,35	12,69	18,83	23,72	25,99	25,74	20,07	15,07	10,18	5,62	14,7
Σκοπιάς	5,69	6,25	9,37	12,75	18,63	23,24	25,95	25,95	20,79	16,01	11,29	6,53	15,2
Λουτροπηγής	4,11	4,51	7,34	10,96	17,24	22,18	24,46	24,09	18,51	13,89	9,67	5,05	13,5

6.3.1 Χωρική ολοκλήρωση θερμοκρασίας λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς

Ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας της λεκάνης πραγματοποιήθηκε με τον «Υδρογνώμων» με συνδυασμό της υψομετρικής και της μεθόδου των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων και βασίστηκε στην παρατήρηση, ότι αυτή μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου.

Στο πρόγραμμα εισήχθησαν σε χωριστή διαδικασία για κάθε μια λεκάνη οι μηνιαίες χρονοσειρές των τριών μετεωρολογικών σταθμών, το υψόμετρο τους, οι συντεταγμένες τους, το μέσο υψόμετρό τους, οι συντεταγμένες του κέντρου των λεκάνων, καθώς και το μέσο υψόμετρο τους και υπολογίστηκε ο συντελεστής βαρύτητας του κάθε σταθμού. Ακολούθησε ο υπολογισμός της θερμομετρικής βαθμίδας με συντελεστή υψομετρικής αναγωγής (λ=1,021) για την λεκάνη Ξυνιάδας και (λ=0,981) για την λεκάνη Σκοπιάς, όπου η

καφέ ευθεία είναι η ευθεία παλινδρόμησης, που με βάση τα ανωτέρω υπολογισθέντα στοιχεία δίνεται από τις σχέσεις (Σχήμα 6.8α-β, Παράρτημα Ι):



Σχήμα 6.7. Μέση μηνιαία μεταβολή θερμοκρασίας της περιόδου αναφοράς.

Y=-0,006*X+17,99 με συντελεστή συσχέτισης r=-0,987

Τελικά, υπολογίστηκαν οι χρονοσειρές για την περίοδο αναφοράς 1996-2010 της θερμοκρασίας των δύο λεκάνων, των οποίων η μέση μηνιαία και η μέση ετήσια τιμή δίνονται στο πίνακα 6.6 που ακολουθεί, ενώ οι αναλυτικές μηνιαίες και ετήσιες χρονοσειρές στο παράρτημα Ι.

Πίνακας 6.6. Μέση μηνιαία και μέση ετήσια επιφανειακή θερμοκρασία (°C) λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς.

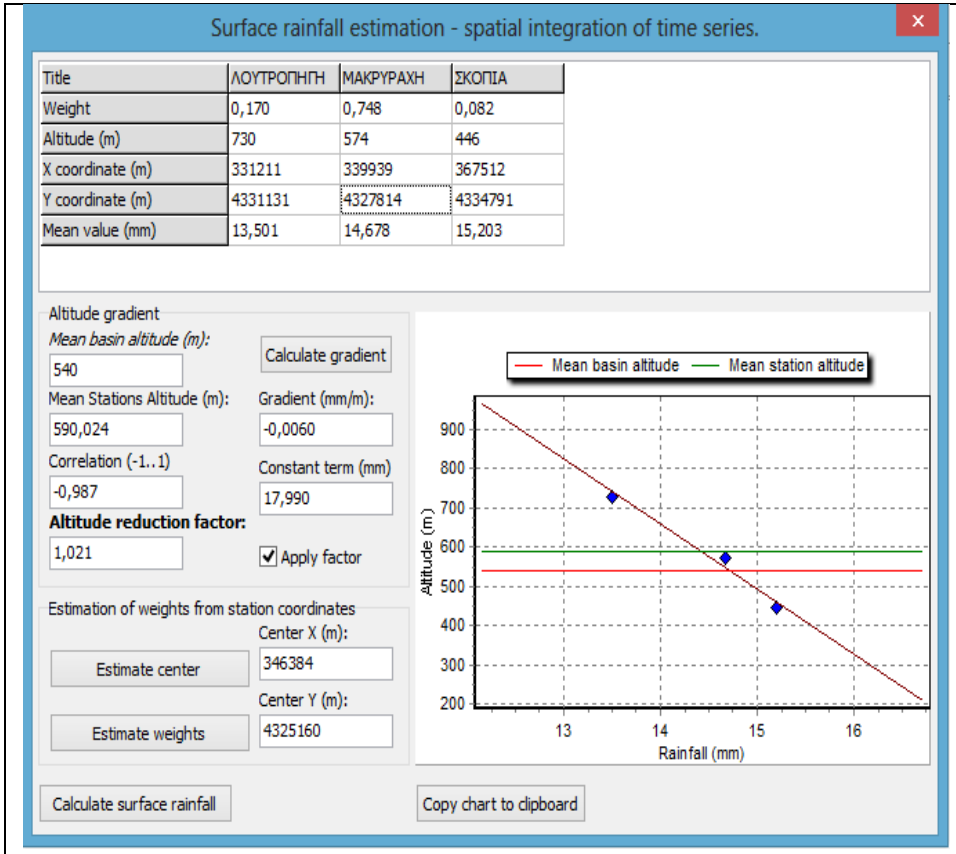
Λεκάνη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Ξυνιάδας	4,7	5,4	8,4	12,7	18,9	23,9	26,3	26,0	20,3	15,3	10,4	5,7	**14,8**
Σκοπιάς	5,4	6,0	9,0	12,4	18,2	22,8	25,4	25,4	20,2	15,5	10,9	6,3	**14,8**

6.4 Κλιματικά στοιχεία περιοχής έρευνας

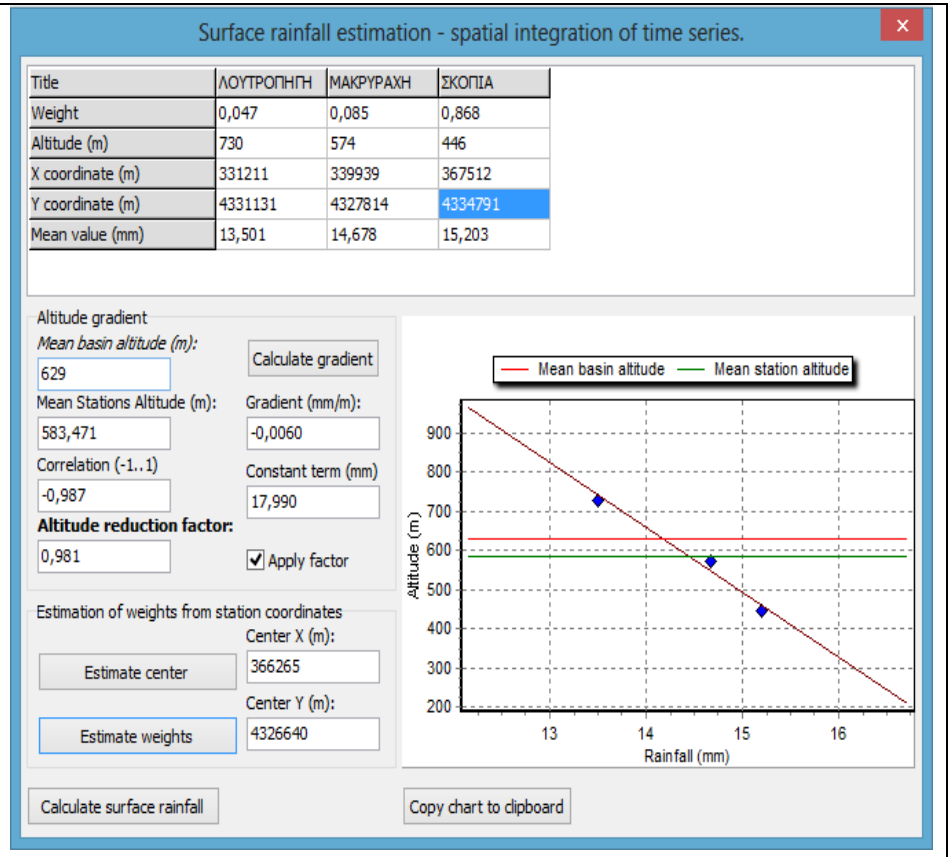
Για τον χαρακτηρισμό του κλίματος στην περιοχή έρευνας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Lang-Gracamin (*Trewartha and Horn* 1980). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο χαρακτηρισμός του κλίματος σε μια περιοχή γίνεται με βάση το συντελεστή ξηρασίας Lang, οι τιμές του οποίου και ο αντίστοιχος χαρακτηρισμός του κλίματος δίνονται στον πίνακα 6.7.

Πίνακας 6.7.Εύρος των τιμών του δείκτη Lang και χαρακτηρισμός κλίματος κατά Gracamin.

Εύρος τιμών δείκτη Lang	Χαρακτηρισμός κατά Gracamin
<1,7	Υπέρξηρο
1,7-3,39	Ξηρό
3,4-7,79	Υπόξηρο
8,0-8,29	Ύφυγρο
8,30-13,29	Υγρό
>13,3	Υπέρυγρο



Σχήμα 6.8α. Χωρική ολοκλήρωση θερμοκρασίας λεκάνης Ξυνιάδας.



Σχήμα 6.8β. Χωρική ολοκλήρωση θερμοκρασίας λεκάνης Σκοπιάς.

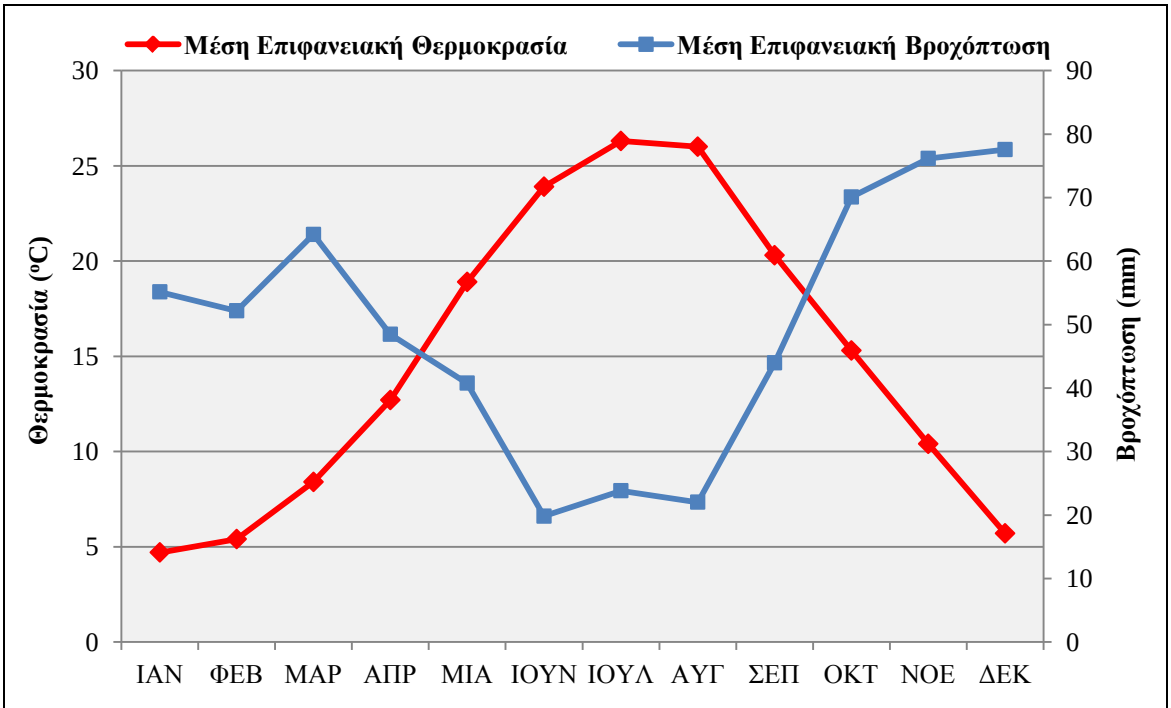
Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το λόγο της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης σε mm προς την αντίστοιχη μέση μηνιαία θερμοκρασία σε ^{o}C:

Δείκτης Lang= Ύψος βροχής (mm) / Θερμοκρασία (^{o}C)

Υπολογίσθηκε έτσι ο συντελεστής ξηρασίας και για τις δύο λεκάνες με βάση τις υπολογισμένες μέσες μηνιαίες τιμές επιφανειακής βροχόπτωσης και θερμοκρασίας του οροπεδίου για τις περιόδους αναφοράς (Πίνακες 6.3 και 6.6). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο χαρακτηρισμός του κλίματος κατά Gracamin για κάθε μήνα του έτους. Η όλη διαδικασία παρουσιάζεται στον πίνακα 6.8 όπου παρατηρούμε ότι και οι δύο λεκάνες παρουσιάζουν παρόμοια κλιματική κατάταξη με μόνη διαφορά ότι τον Ιανουάριο το κλίμα παρουσιάζεται στην λεκάνη Ξυνιάδας υγρό ενώ στη λεκάνη Σκοπιάς υπέρυγρο. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι και για τις δύο λεκάνες, τους μήνες από Ιούνιο έως και Αύγουστο το κλίμα χαρακτηρίζεται ως υπέρξηρο.

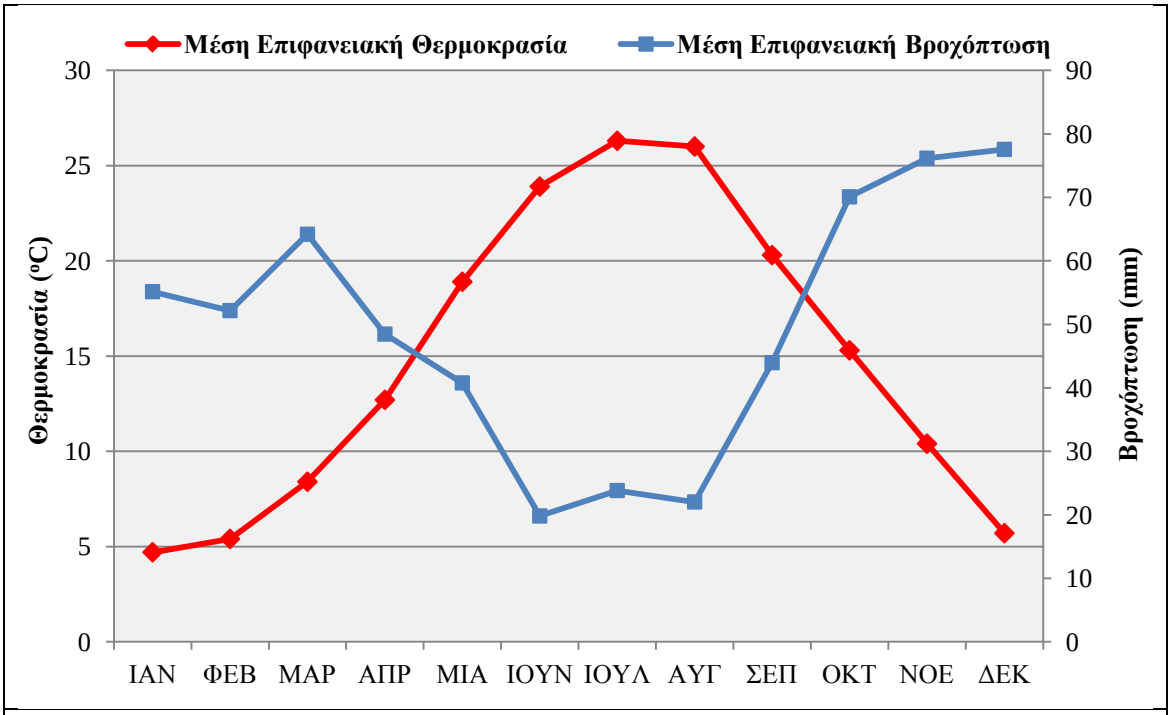
Πίνακας 6.8. Χαρακτηρισμός κλίματος των λεκάνων της περιοχής έρευνας.

	Λεκάνη Ξυνιάδας		**Λεκάνη Σκοπιάς**	
Μήνας	**Δείκτης Lang**	**Κλιματική Κατάταξη**	**Δείκτης Lang**	**Κλιματική Κατάταξη**
Ι	11,7	Υγρό	16,5	Υπέρυγρο
Φ	9,7	Υγρό	11,7	Υγρό
Μ	7,6	Υπόξηρο	9,2	Υγρό
Α	3,8	Υπόξηρο	3,8	Υπόξηρο
Μ	2,2	Ξηρό	2,2	Ξηρό
Ι	0,8	Υπέρξηρο	0,9	Υπέρξηρο
Ι	0,9	Υπέρξηρο	1,2	Υπέρξηρο
Α	0,8	Υπέρξηρο	0,9	Υπέρξηρο
Σ	2,2	Ξηρό	2,7	Ξηρό
Ο	4,6	Υπόξηρο	4,6	Υπόξηρο
Ν	7,3	Υπόξηρο	6,8	Υπόξηρο
Δ	13,6	Υπέρυγρο	15,5	Υπέρυγρο



Σχήμα 6.9. Ομβροθερμικό διάγραμμα της λεκάνης Ξυνιάδας.

Με βάση τις τιμές των πινάκων 6.3 και 6.6 της χωρικής ολοκλήρωσης βροχής και θερμοκρασίας δημιουργήθηκαν τα ομβροθερμικά διάγραμματα για τις λεκάνες του οροπεδίου (Σχήματα 6.9 και 6.10). Διαπιστώνεται ότι η ξηροθερμική περίοδος και για τις δύο λεκάνες εκτείνεται από το τελευταίο δεκαήμερο του Απριλίου μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου, περίοδο όπου αναμένονται οι ανάγκες άρδευσης των καλλιεργειών.



Σχήμα 6.10. Ομβροθερμικό διάγραμμα της λεκάνης Σκοπιάς.

6.5 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Η εξατμισοδιαπνοή περιλαμβάνει εκείνη την ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα από την εξάτμιση του νερού και από τη διαπνοή των φυτών και είναι από τις πιο σημαντικές συνιστώσες του υδρολογικού ισοζυγίου. Η μέγιστη εξατμισοδιαπνοή από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια, που έχει επάρκεια νερού κάτω από ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες ονομάζεται δυνητική εξατμισοδιαπνοή (*Παπαϊωάννου* 1995). Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη ή το πολύ ίση με τη δυνητική.

Στην παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με την εμπειρική μέθοδο του *Thornthwaite* (1948) με δεδομένα εισόδου τη μέση θερμοκρασία. Η μέθοδος αυτή εκτιμά τις μηνιαίες τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ET_p σε mm, σύμφωνα με τη σχέση:

$$ET_P = 16\left(\frac{\ell_1}{12}\right)\left(\frac{N}{30}\right)\left(\frac{10T_a}{I}\right)^{a_1}$$

Όπου ℓ_1 είναι οι πραγματικές ώρες της ημέρας, N ο αριθμός των ημερών του μήνα, T_a η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα (σε ^{0}C) και το α_1 είναι συντελεστής που ορίζεται από την εξίσωση:

$$\alpha_1 = 6{,}75 * 10^{-7} I^3 - 7.71 * 10^{-5} I^2 + 1.79 * 10^{-2} I + 0.49$$

Όπου I ένας δείκτης θερμότητας ίσος με το άθροισμα των 12 μηνιαίων δεικτών του δείκτη i:

$$i = \left(\frac{T_a}{5} \right)^{1.514}$$

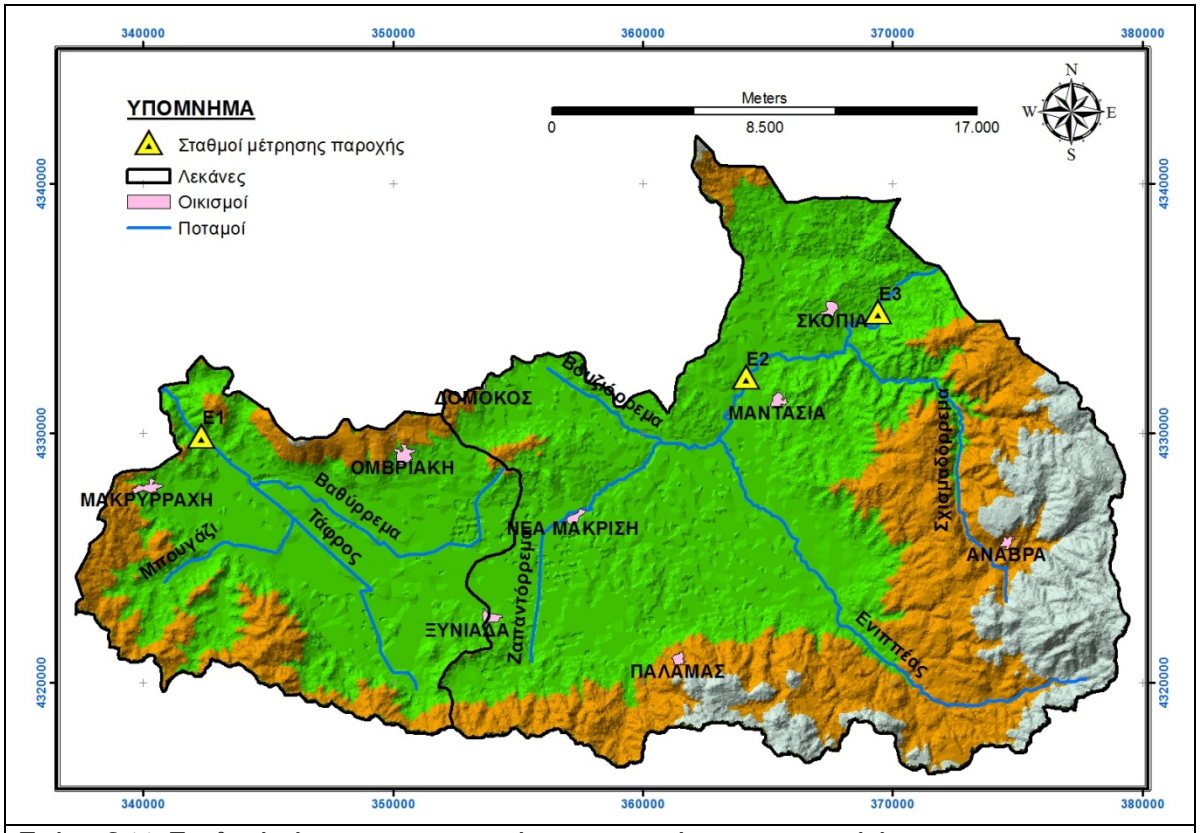
Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής πραγματοποιήθηκε στον «Υδρογνώμων», σε χωριστή διαδικασία για κάθε μια λεκάνη. Έγινε εισαγωγή της υπολογισμένης χρονοσειράς της μέσης θερμοκρασίας για κάθε μια λεκάνη και γεωγραφικά πλάτη 39^0 03΄ 52,69΄΄ και 39^0 04΄ 52,45΄΄ του κέντρου των λεκάνων Ξυνιάδας και Σκοπιάς αντίστοιχα. Τελικά, υπολογίστηκε η χρονοσειρά 1996-2010 της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής των δύο λεκανών (Παράρτημα Ι), της οποίας η μέση μηνιαία και η συνολική ετήσια τιμή δίνονται στον πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9. Μέση μηνιαία και συνολική ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm) λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς.

Λεκάνη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Ξυνιάδας	7,8	9,7	23,4	46,9	99,0	144,6	170,9	157,4	92,8	54,8	26,0	10,4	**843,7**
Σκοπιάς	10,0	11,6	26,3	46,2	94,1	134,7	162,4	151,4	93,0	57,1	28,5	12,2	**827,5**

6.6. Ολική απορροή

Με τον όρο ολική απορροή εννοούμε το νερό που εξέρχεται από μια λεκάνη (*Σούλιος* 1986) και είναι ο όγκος νερού που περνάει από συγκεκριμένη θέση ποταμού σε ορισμένο χρονικό διάστημα και μετριέται σημειακά.



Σχήμα 6.11. Σταθμοί μέτρησης της παροχής των ποταμών στην περιοχή έρευνας.

Για τον υπολογισμό της συνολικής ολικής απορροής του οροπεδίου Δομοκού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της παροχής των ποταμών με μυλίσκο (Flow Probe FP101/Global Water), για την περίοδο $10^{ος}$/2009 έως $3^{ος}$/2011. Οι μετρήσεις

πραγματοποιήθηκαν σε τρία σημεία, σε 10ημερη βάση για την ξηρή περίοδο 4ος/2010 έως 9ος/2010 και σε 15ημερη βάση για το υπόλοιπο διάστημα (Σχήμα 6.11). Το πρώτο σημείο (Ε1) βρίσκεται στην αποστραγγιστική τάφρο στην έξοδο της λεκάνης Ξυνιάδας στη θέση με συντεταγμένες (Η: 445 m, Χ: 342345, Υ: 4329923) και τα άλλα δύο σημεία (Ε2 και Ε3) στη λεκάνη της Σκοπιάς. Το σημείο (Ε2) στη γέφυρα της Μαντασιάς στον Ενιππέα, ανάντη του κόμβου συμβολής του ποταμού με το Σχισμαδόρεμα και το σημείο (Ε3) κατάντη της συμβολής, στη γέφυρα της Σκοπιάς στην έξοδο της λεκάνης, με συντεταγμένες (Η: 350 m, Χ: 364131, Υ: 4332281) και (Η: 312 m, Χ: 369437, Υ: 4334891) αντίστοιχα (Σχήματα 6.12 έως 6.13α-β).

Σε κάθε θέση γινόταν κάθε φορά μέτρηση του πλάτους όπως και του βάθους (ανά 10 cm πλάτους) με την βοήθεια σταδίας, από όπου γινόταν ο υπολογισμός του εμβαδού της διατομής Α του υδατορεύματος στο σημείο μέτρησης. Εξάλλου, όσο πιο πυκνά είναι τα σημεία μετρήσεων τόσο πιο κοντά είμαστε στην πραγματική διατομή (*Σούλιος* 1986). Με το μυλίσκο υπολογιζόταν η μέση ταχύτητα ροής του νερού, η οποία εντοπίζεται στο 0,60 περίπου του βάθους της διατομής (*Τσακίρης* 1995), βάση της σχέσης:

$$Q=A*V$$

όπου Q= η παροχή, Α= το εμβαδό της διατομής, V= η ταχύτητας ροής του νερού γινόταν ο τελικός υπολογισμός της παροχής των ποταμών σε m^3/h. Η μέση μηνιαία χρονοσειρά και τα υδρογραφήματα με τις αναλυτικές μετρήσεις της παροχής μικρότερου χρονικού βήματος, παρουσιάζονται στον πίνακα 6.10 και στο σχήμα 6.14 αντίστοιχα.

Οι μέγιστες τιμές παροχής παρατηρούνται τον Ιανουάριο του 2010 και για τους τρεις σταθμούς και οι ελάχιστες τιμές για τον Ενιππέα στη θέση της Σκοπιάς και την Τάφρο τον Αύγουστο του 2010, ενώ για τη θέση της Μαντασιάς τον Ιούνιο του 2010. Η ανισομερής κατανομή στις ελάχιστες τιμές της παροχής στις δύο θέσεις του Ενιππέα σχετίζεται με ότι το συμβαλλόμενο Σχισμαδόρεμα ανάντη της θέσης της Σκοπιάς, που πηγάζει από τις κεντρικές κορυφές της Όθρυος ακολουθώντας διαφορετικό χρονικό πρότυπο παροχής νερού. Τελικά υπολογίστηκε σε m^3 η μέση μηνιαία ολική απορροή για το σύνολο του οροπεδίου (Πίνακας 6.11). Διαπιστώνεται ότι από το οροπέδιο απορρέουν συνολικά σε ετήσια βάση 77.223.046,91 m^3 νερού από τα οποία τα 27.543.038,02 m^3 από τη λεκάνη Ξυνιάδας και τα 49.680.008,9 m^3 από τη λεκάνη Σκοπιάς.

Πίνακας 6.10. Μέση μηνιαία παροχή (m^3/h) των ποταμών στην περιοχή έρευνας.

Μήνας	**Παροχή (m^3/h)**			**Μήνας**	**Παροχή (m^3/h)**		
	Σκοπιά	**Μαντασιά**	**Τάφρος**		**Σκοπιά**	**Μαντασιά**	**Τάφρος**
Οκτ-09	3.360,2	1.395,4	1.144,6	Ιουλ-10	2.151,9	794,3	624,5
Νοε-09	3.803,6	1.686,5	3.058,0	Αυγ-10	2.060,4	659,8	314,4
Δεκ-09	7.558,9	4.152,4	3.674,1	Σεπ-10	2.109,8	867,7	616,9
Ιαν-10	25.571,4	15.980,2	12.384,0	Οκτ-10	2.670,4	1.527,9	2.475,4
Φεβ-10	13.171,9	7.838,1	10.061,4	Νοε-10	2.574,4	1.304,1	1.208,0
Μαρ-10	11.216,8	5.162,4	7.496,2	Δεκ-10	2.870,0	1.417,4	1.482,7
Απρ-10	5.693,0	2.874,8	3.479,9	Ιαν-11	3.733,4	2.364,6	2.258,5
Μαϊ-10	4.080,3	1.642,8	1.827,9	Φεβ-11	8.107,5	4.312,0	5.645,9
Ιουν-10	2.249,4	648,6	1.208,0	Μαρ-11	16.672,1	9.882,7	9.476,3



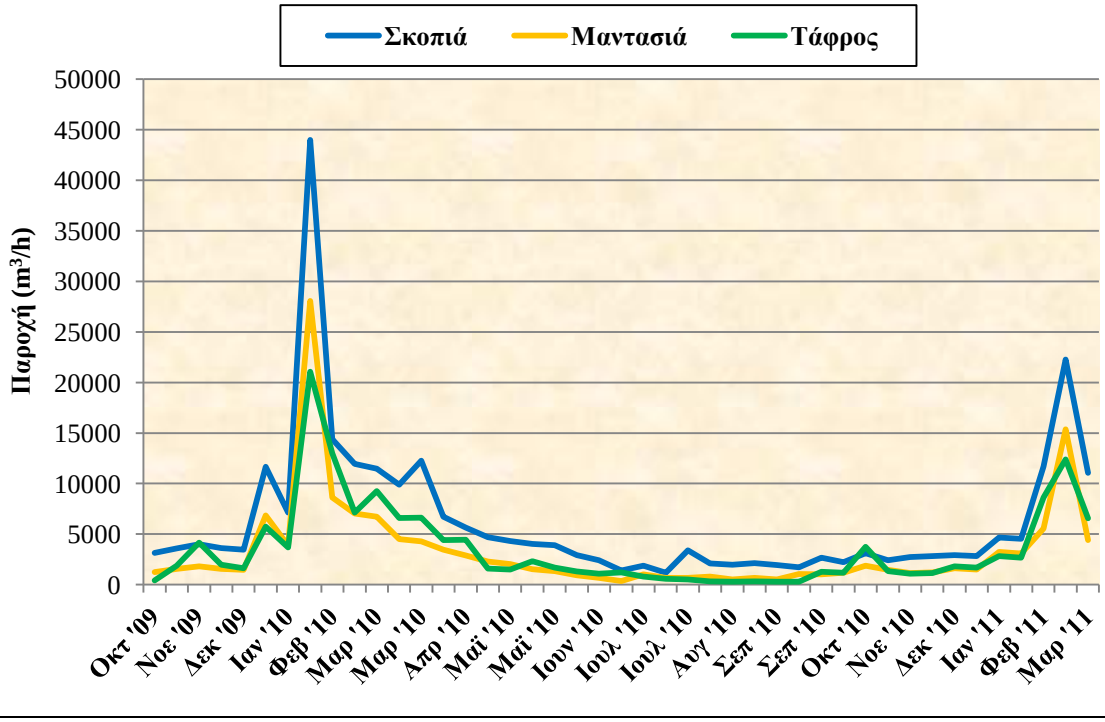
Σχήμα 6.12. Το σημείο Ε1 μέτρησης παροχής της αποστραγγιστικής τάφρου στην έξοδο της λεκάνης Ξυνιάδας.



Σχήμα 6.13α. Το σημείο Ε2 μέτρησης παροχής του Ενιππέα ποταμού στη γέφυρα της Μαντασιάς στη λεκάνη Σκοπιάς.



Σχήμα 6.13β. Το σημείο Ε3 μέτρησης παροχής του Ενιππέα ποταμού στη γέφυρα Σκοπιάς στη λεκάνη Σκοπιάς.



Σχήμα 6.14. Υδρογραφήματα των υδατορευμάτων της περιοχής έρευνας.

Πίνακας 6.11. Μέση μηνιαία ολική απορροή της περιοχής έρευνας.

Μήνας	Ολική Απορροή Οροπεδίου ($x10^6$ m^3)	Μήνας	Ολική Απορροή Οροπεδίου ($x10^6$ m^3)
Οκτ-09	3,24	Ιουλ-10	2,00
Νοε-09	4,94	Αυγ-10	1,71
Δεκ-09	8,09	Σεπ-10	1,96
Ιαν-10	27,33	Οκτ-10	3,70
Φεβ-10	16,73	Νοε-10	2,72
Μαρ-10	13,47	Δεκ-10	3,13
Απρ-10	6,60	Ιαν-11	4,31
Μαϊ-10	4,25	Φεβ-11	9,90
Ιουν-10	2,49	Μαρ-11	18,83

6.7 Υδατικό ισοζύγιο

Ο προσδιορισμός του υδρολογικού ισοζυγίου μιας υδρολογικής λεκάνης οδηγεί στην κατανόηση της δίαιτας των υδάτινων πόρων της. Αυτό προϋποθέτει τον υπολογισμό των συνιστωσών του ισοζυγίου που συνδέονται με τη σχέση:

$$P = ET + R + I$$

Όπου P τα κατακρημνίσματα (mm), ET η εξατμισοδιαπνοή (mm), R η ολική απορροή (mm) και I η κατείσδυση (mm). Η ολική απορροή αποτελείται από το σύνολο της επιφανειακής και της υπόγειας απορροής δηλ. είναι:

$$R_{ολ} = R_{επιφ.} + R_{υπ.}$$

Επιφανειακή απορροή ορίζεται το ποσοστό του νερού των κατακρημνισμάτων που ρέει κάτω από την επίδραση της βαρύτητας κατά μήκος των γραμμικών κλάδων του φυσικού υδρογραφικού δικτύου. Αντίθετα υπόγεια απορροή χαρακτηρίζεται το ποσοστό του νερού των κατακρημνισμάτων που κατέρχεται προς τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα και κάτω από την επίδραση των χωρικών μεταβολών της πιεζομετρίας ξαναβγαίνει στο έδαφος είτε σημειακά σε πηγές είτε κατά μήκος των φυσικών υδατορευμάτων (*Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος* 1999).

Με το όρο ολική κατείσδυση (*Σταμάτης* 2009a) χαρακτηρίζουμε το ποσοστό των κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν στο υπέδαφος. Ένα μέρος του εξέρχεται στην επιφάνεια μέσο των πηγών ($I_{επιφ.}$) και συμμετέχει στην απορροή της υδρολογικής λεκάνης και ένα μέρος του εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς ($I_{υπ.}$) δηλ. είναι:

$$I_{ολ.} = I_{επιφ.} + I_{υπ.}$$

Οπότε σύμφωνα με τα παραπάνω $I_{επιφ.} = R_{υπ.}$ και τελικά η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου γίνεται:

$$P = ET + R_{ολ} + I_{υπ.}$$

Για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής έρευνας χρησιμοποιήθηκε το αδρομερές εννοιολογικό μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής «ΖΥΓΟΣ» το οποίο είναι ένα υπολογιστικό εργαλείο που παρέχεται στα πλαίσια του «Υδρογνώμων» (*http://www.gnu.org/licenses/gpl.html*-(θεωρητική τεκμηρίωση) *Κοζάνης κ.ά.* 2010)

6.7.1 Μοντέλο Ζυγός

Το μοντέλο ΖΥΓΟΣ αποτελεί μία τροποποιημένη εκδοχή του μοντέλου *Thornthwaite* (1948) και σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει τις κύριες υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης απορροής και του υποκείμενου υδροφορέα. Δεδομένα εισόδου του συγκεκριμένου μοντέλου είναι οι μηνιαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης *Pt* δυνητικής εξατμοδιαπνοής *EPt* απορροής, καθώς και απόληψης υπόγειου νερού PUMP*t* και οι οποίες δίνονται στη μορφή ισοδύναμου ύψους νερού. Αποτελεί μια απλοποιημένη εκδοχή ενός ημικατανεμημένου σχήματος προσομοίωσης το οποίο έχει αναπτυχθεί στο Ε.Μ.Π. (*Ευστρατιάδης κ.ά.* 2004, 2005, *Rozos et al.* 2004) από (*http://www.gnu.org/licenses/gpl.html*-(θεωρητική τεκμηρίωση) *Κοζάνης κ.ά.* 2010).

Το μοντέλο μπορεί να εκτιμήσει με τη μορφή μηνιαίων χρονοσειρών:

- Την απορροή στην έξοδο της λεκάνης, *Qt*
- Την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, *Et*
- Την κατείσδυση νερού προς τον υπόγειο υδροφορέα, PERC*t*
- Τις διαφυγές εκτός λεκάνης, QOUT*t*
- Την αποθήκευση εδαφικής υγρασίας, *S*t
- Την αποθήκευση υπόγειου νερού, *Yt*

Εισάγοντας στο μοντέλο παρατηρημένη χρονοσειρά απορροής μπορεί να βαθμονομηθεί χειροκίνητα ή αυτόματα με τον εξελικτικό αλγόριθμο ανόπτησης-απλόκου (evolutionary annealing-simplex method). Αυτός αποτελεί μια ισχυρή μέθοδο μη γραμμικής βελτιστοποίησης, η οποία έχει αναπτυχθεί από ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ (*Ευστρατιάδης* 2001, *Efstratiadis and Koutsoyiannis* 2002, *Rozos et al.* 2004) από (*http://www.gnu.org/licenses/gpl.html*-(θεωρητική τεκμηρίωση) *Κοζάνης κ.ά.* 2010). Στην αυτόματη βαθμονόμηση (για 1000x*n* παραμέτρους) οι τιμές των παραμέτρων δίνουν πολλές φορές ένα υψηλό αποτέλεσμα βελτιστοποίησης αλλά συνήθως δεν έχουν κάποια φυσική σημασία για τις λεκάνες. Σημαντικό είναι επίσης, ότι περιορίζοντας τις μεταβλητές ελέγχου μειώνονται οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου, οδηγώντας στην καλύτερη προσέγγιση των προσομοιωμένων τιμών των υδρολογικών διεργασιών.

Ως μέτρο ελέγχου της προσαρμογής της προσομοιωμένης στη μετρημένη απορροή και κριτήριο αξιολόγησης του μοντέλου (*Ευστρατιάδης και Μαμάσης* 2010) επιλέχθηκε ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination) Nash (*Nash and Sutcliffe* 1970), ο οποίος είναι ενδεικτικός της ακρίβειάς του και δίνεται από την σχέση:

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (Oi - Pi)^2}{\sum_{i=1}^{N} (Oi - \overline{O})^2}$$

Όπου:
Oi = Η παρατηρημένη απορροή
Pi = Η απορροή που εκτιμήθηκε από το μοντέλο
$\overline{O}$ = Η μέση τιμή των παρατηρημένων απορροών
N = Ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων

Ο συντελεστής λαμβάνει τιμές από $-\infty$ έως 1. Αν $R < 0$ η προσαρμογή του μοντέλου θεωρείται πολύ κακή, ενώ όσο πιο κοντά στο 1 είναι οι τιμές του συντελεστή τόσο η προσομοιωμένη χρονοσειρά είναι καλύτερη εκτιμήτρια σε σχέση με τη μέση παρατηρημένη τιμή $\overline{O}$.

6.7.2 Υπολογιστική διαδικασία

Αρχικά από το μοντέλο (*Τζούκα* 2007, *Ευστρατιάδης και Μαμάσης* 2010) εκτιμάται η άμεση εξατμισοδιαπνοή από τη σχέση:

$$ED = \min (\varepsilon P_t, E_{pt})$$

Στη συνέχεια η περίσσεια της βροχόπτωσης, πέρα από το ποσοστό που δαπανείται για την κάλυψη της άμεσης εξατμισοδιαπνοής, μετατρέπεται κατά ένα άλλο ποσοστό σε άμεση απορροή:

$$Q_{Dt} = \kappa (Pt - E_{Dt})$$

Η παράμετρος *κ* που εκφράζει το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας δε θα πρέπει να υπεισέρχεται στην εδαφική δεξαμενή αλλά θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από αυτή. Η άμεση απορροή που προέρχεται από τους αδιαπέρατους σχηματισμούς είναι μια διαδικασία που προηγείται χρονικά της διήθησης στο έδαφος. Στη συνέχεια η διαθέσιμη εδαφική υγρασία που είναι ίση με το άθροισμα της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας και της περίσσειας της βροχόπτωσης, όταν ξεπεράσει την χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας *K* θα απορρεύσει ως επίγεια ροή Q_{Qt} :

$$Q_{Qt} = \max (0, Sinit - K)$$

Μετά και την πραγματοποίηση της εδαφικής εξατμισοδιαπνοής ακολουθεί η πραγματοποίηση της υποδερμικής ροής:

$$Q_{It} = \max (0, \lambda (Sinit - H_1))$$

και η κατείσδυση στον υπόγειο υδροφορέα: $PERCt = \max (0, \mu Sinit)$
Όσον αφορά στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Υπόγεια Δεξαμενή: η δεξαμενή αυτή δέχεται ένα ποσοστό νερού από την κατείσδυση, ενώ άλλο ένα ποσοστό αφαιρείται μέσω των αντλήσεων, συνεπώς το νερό που πλέον είναι διαθέσιμο για άλλες διεργασίες είναι ίσο με:

$$Y\ init = Y_{t-1} + PERCt - PUMPt$$

Η βασική ροή Q_{Bt} δημιουργείται όταν το διαθέσιμο απόθεμα νερού υπερβεί το κατώφλι H_2:

$$Q_{Bt} = \max (0, \xi (Yinit - H_2))$$

Ως τελευταία διεργασία είναι οι διαφυγές εκτός της λεκάνης:

$$QOUT_t = \varphi\ Yinit$$

Κάθε δεξαμενή αναπαριστά μια στοιχειώδη φυσική διεργασία που πραγματοποιείται κατά τη διαδρομή του νερού μέσα στη λεκάνη απορροής.

6.7.3 Εφαρμογή του μοντέλου Ζυγός στη λεκάνη Ξυνιάδας

Αυτόματη βαθμονόμηση

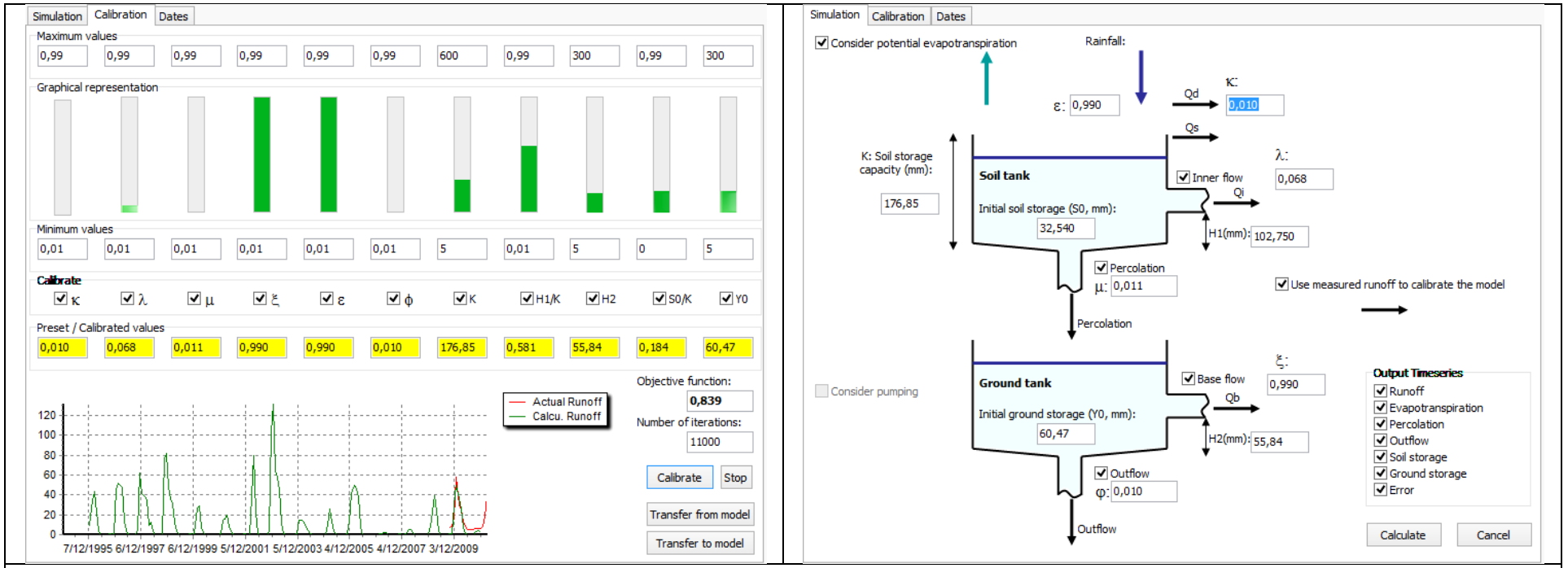
Στο περιβάλλον του Υδρογνώμων και έπειτα από την ενεργοποίηση του μοντέλου, πραγματοποιήθηκε για τη λεκάνη Ξυνιάδας η εισαγωγή της υπολογισμένης με χωρική ολοκλήρωση χρονοσειράς βροχόπτωσης, της ανηγμένης στην έκταση της λεκάνης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της παρατηρημένης απορροής σε mm βροχής. Ακολούθησε η αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για μέγιστο αριθμό 11.000 δοκιμών, ενώ η τιμή του συντελεστή συσχέτισης «objective function», που αποτελεί κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου, ήταν 0,839. Αυτό σήμαινε ότι το μοντέλο αναπαριστούσε αρκετά ικανοποιητικά τις φυσικές διεργασίες παραγωγής απορροής από τις βροχοπτώσεις (Σχήμα 6.15). Οι εκτιμημένες μηνιαίες παροχές, σε συνδυασμό με την υπάρχουσα χρονοσειρά μετρημένης απορροής, εισήχθησαν στο Excel και υπολογίστηκε ο συντελεστής Nash σε 0,84.

Η τιμή αυτή είναι υψηλή και δείχνει βέλτιστη προσαρμογή της προσομοιωμένης στη μετρημένη απορροή. Η εξέταση της διακύμανσης όλων των χρονοσειρών εξόδου και του υπερετήσιου υδατικού ισοζύγιου δείχνει ότι οι προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου είναι ρεαλιστικοί και έχουν φυσική σημασία για την περιοχή έρευνας. Στο σχήμα 6.16 παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση τους, ενώ στο σχήμα 6.17 εμφανίζεται για την κοινή περίοδο $10^{ος}$ 2009 έως $12^{ος}$ 2010, η σύγκριση της παρατηρημένης με την υπολογισμένη από το μοντέλο απορροή. Διαπιστώνεται μικρή υπεροχή της παρατηρημένης σε σχέση με την υπολογισμένη απορροή. Το υπερετήσιο υδρολογικό ισοζύγιο σε (mm), ανηγμένο στο σύνολο της λεκάνης (167,90 km^2) που υπολογίστηκε παρουσιάζεται στον πίνακα 6.12.

Πίνακας 6.12. Προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου της για τη λεκάνη Ξυνιάδας για δείκτη Nash 0,82.

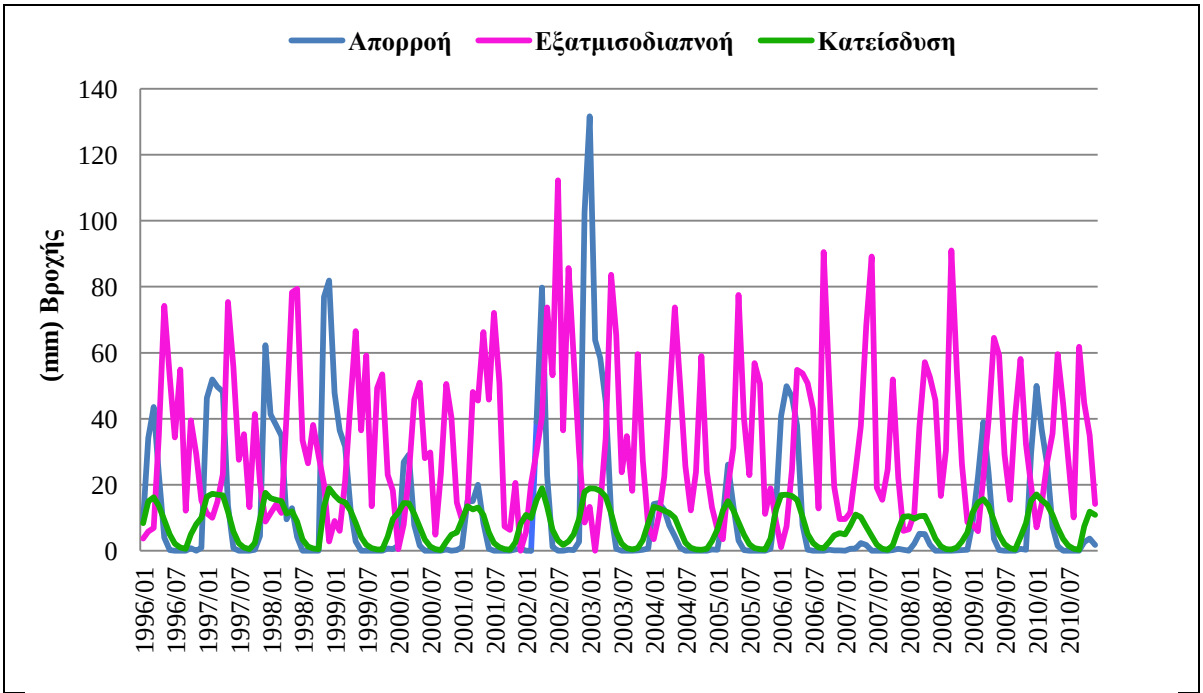
	(mm) βροχής	**Ετήσιος όγκος ($x10^6$ m^3)**	**Συντελεστής (%)**
Κατακρημνίσματα (P)	622,5	104,52	100
Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (E_T)	390,5	65,57	62,7
Απορροή (R)	140,1	23,52	22,5
Κατείσδυση (I)	91,9	15,43	14,8

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 62,7% (390,5mm) των κατακρημνισμάτων, η απορροή το 22,5% (140,1 mm) και η κατείσδυση το 14,8% (91,9 mm). Από τα συνολικά 104,52x10^6 m^3 κατακρημνισμάτων που πέφτουν σε ετήσια βάση στη λεκάνη Ξυνιάδας τα 65,57x10^6 m^3 νερού εξατμισοδιαπνέονται, τα 23,52x10^6 m^3 απορρέουν, ενώ τα 15,43x10^6 m^3 νερού κατεισδύουν.

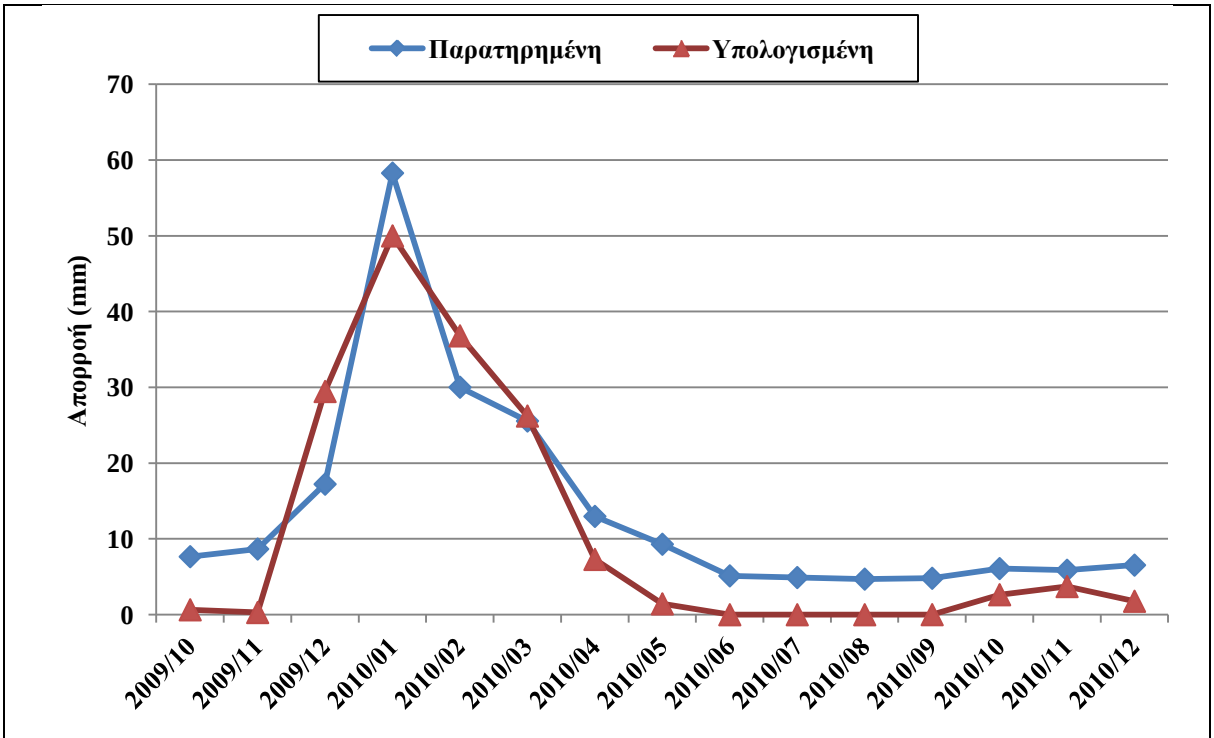


Σχήμα 6.15. Αυτόματη βαθμονόμηση του αδρομερούς μοντέλου Ζυγός για την λεκάνη Ξυνιάδας.

Το σφάλμα επί της ετήσιας τιμής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με χωρική ολοκλήρωση (594,12 mm) ανέρχεται σε 27,58 mm ή 4,8% και θεωρείται αποδεκτό.



Σχήμα 6.16. Μηνιαία διακύμανση των υπολογισμένων με το αδρομερές μοντέλο Ζυγός παραμέτρων υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Ξυνιάδας για δείκτη Nash 0,82.

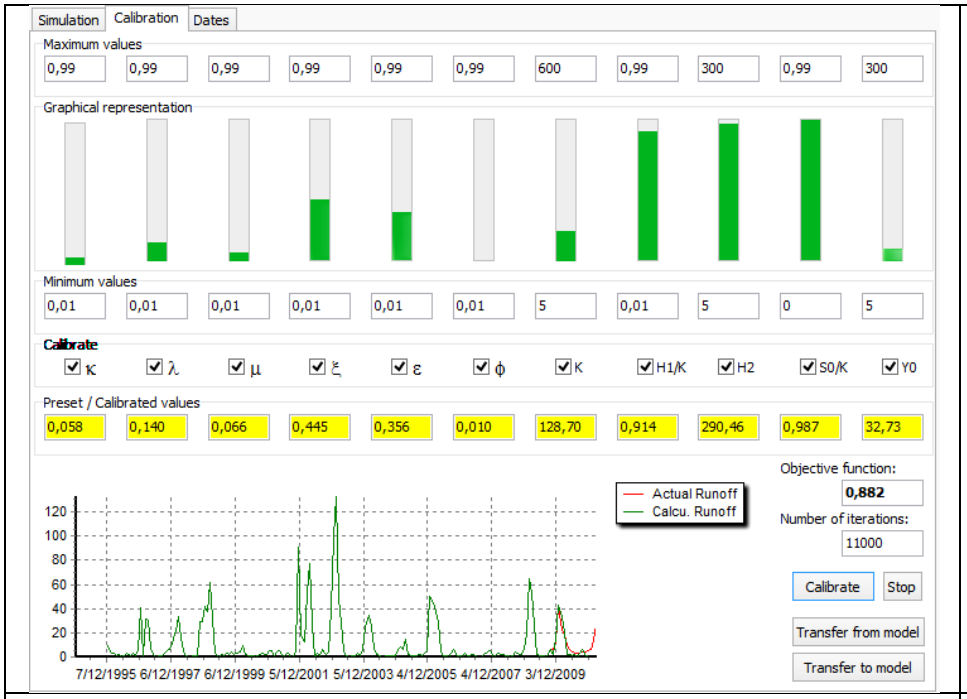


Σχήμα 6.17. Σύγκριση παρατηρημένης και υπολογισμένης από το μοντέλο Ζυγός απορροής για τη λεκάνη Ξυνιάδας (συντελεστής Nash:0,82).

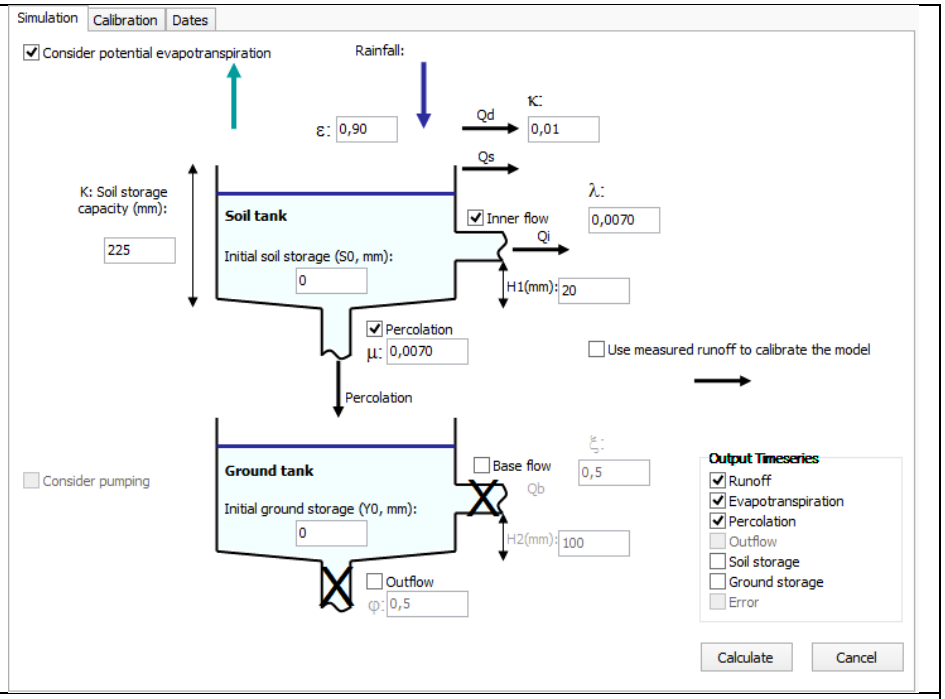
6.7.4 Εφαρμογή του μοντέλου Ζυγός στη λεκάνη Σκοπιάς

Αυτόματη βαθμονόμηση

Στο περιβάλλον του Υδρογνώμων και έπειτα από την ενεργοποίηση του μοντέλου,



Σχήμα 6.18. Αυτόματη βαθμονόμηση του αδρομερούς μοντέλου Ζυγός για τη λεκάνη Σκοπιάς



Σχήμα 6.19. Χειροκίνητη βαθμονόμηση του αδρομερούς μοντέλου Ζυγός για τη λεκάνη Σκοπιάς

πραγματοποιήθηκε για την λεκάνη Σκοπιάς η εισαγωγή της υπολογισμένης με χωρική ολοκλήρωση χρονοσειράς βροχόπτωσης, της ανηγμένης στην έκταση της λεκάνης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της παρατηρημένης απορροής σε mm βροχής. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αυτόματη βαθμονόμηση του μοντέλου για μέγιστο αριθμό 11.000 δοκιμών, ενώ η τιμή του συντελεστή συσχέτισης «objective function», που αποτελεί κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου, ήταν 0,882. Αυτό σήμαινε ότι το μοντέλο αναπαριστούσε ακριβώς τις φυσικές διεργασίες παραγωγής απορροής από τις βροχοπτώσεις (Σχήμα 6.18). Οι εκτιμημένες μηνιαίες παροχές, σε συνδυασμό με την υπάρχουσα χρονοσειρά μετρημένης απορροής, εισήχθησαν στο Excel και υπολογίστηκε ο συντελεστής Nash σε 0,00.

Η τιμή αυτή δείχνει τη μη προσαρμογή της προσομοιωμένης στη μετρημένη απορροή, ενώ επιπλέον οι προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου δεν έχουν φυσική σημασία για την περιοχή έρευνας. Οι συνολικές υπολογισθέντες τιμές κατείσδυσης και πραγματικής εξατμισοδιαπονοής δεν είναι ρεαλιστικές, οδηγώντας τελικά στην επιλογή της χειροκίνητης βαθμονόμησης του μοντέλου (Πίνακας 6.13).

Πίνακας 6.13. Προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου της αυτόματης βαθμονόμησης για τη λεκάνη Σκοπιάς.

	(mm) βροχής	**Συντελεστής (%)**
Κατακρημνίσματα (P)	779,78	100
Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (E_T)	266,66	34,2
Απορροή (R)	128,46	16,5
Κατείσδυση (I)	384,66	49,3

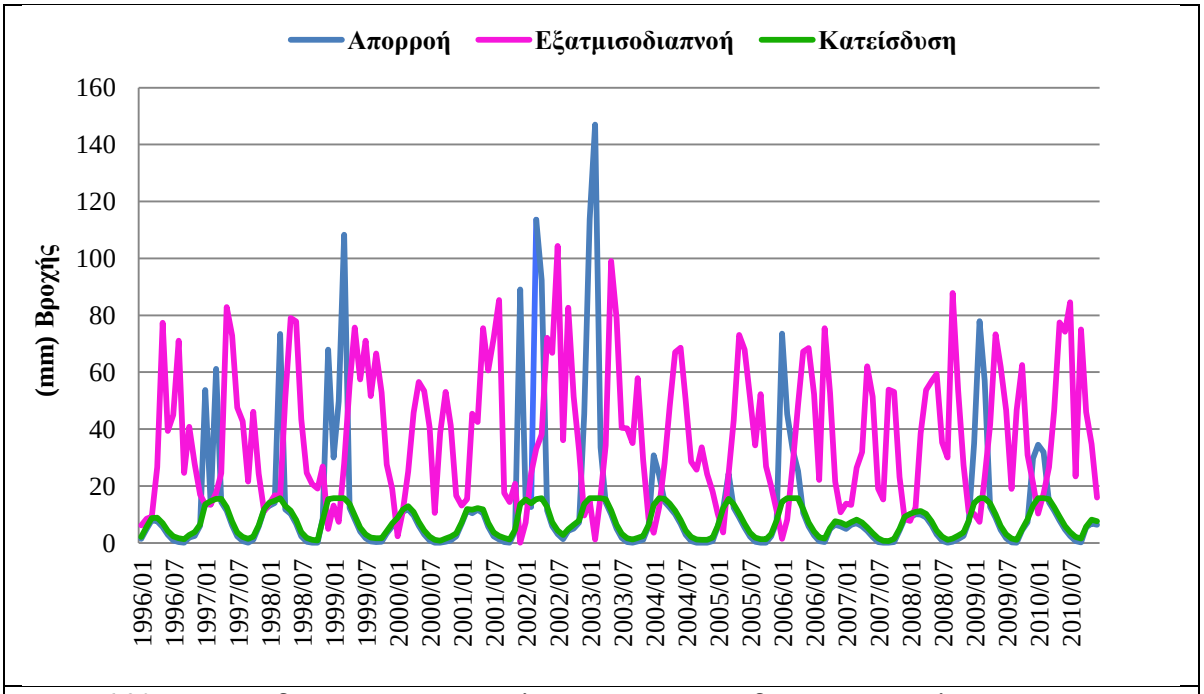
Πίνακας 6.14. Παράμετροι της χειροκίνητης βαθμονόμησης του αδρομερούς μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής Ζυγός για τη λεκάνη Σκοπιάς.

Παράμετρος	**Περιγραφή**
ε	Ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για την ικανοποίηση της άμεσης εξατμισοδιαπνοής
κ	Ποσοστό της περίσσειας βροχόπτωσης που εμφανίζεται ως άμεση απορροή και οφείλεται στην ύπαρξη αδιαπέρατων σχηματισμών, μέσω των οποίων το ποσοστό της βροχής μετατρέπεται άμεσα σε απορροή. Ουσιαστικά είναι το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας και εκφράζει το ποσοστό που απορρέει άμεσα χωρίς να διεισδύσει στο έδαφος
K	Χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας που εκφράζει την μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους (mm)
S_0	Αρχικό απόθεμα δεξαμενής υπόγειου νερού
λ	Ρυθμός εκφόρτισης δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής
H_1	Κατώφλι αποθέματος δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής
μ	Ρυθμός εκφόρτισης δεξαμενής εδαφικής υγρασίας για παραγωγή κατείσδυσης

Χειροκίνητη βαθμονόμηση

Οι παράμετροι του Ζυγού, από έντεκα στο σύνολο τους μειώθηκαν σε επτά (Πίνακας 6.14) και ρυθμίστηκαν κατάλληλα, ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος συντελεστής Nash, χωρίς όμως οι τιμές τους να ξεφεύγουν από τα λογικά τους όρια. Οδηγός σε αυτό αποτέλεσαν (*Ευστρατιάδης και Μαμάσης* 2010) οι τιμές της αυτόματης βαθμονόμησης, η γεωμορφολογία της λεκάνης και τα αποτελέσματα άλλης έρευνας με το ίδιο μοντέλο (*Τζούκα* 2007) στη λεκάνη Σκοπιάς. Παράλληλα υιοθετήθηκε μια βασική παραδοχή του μοντέλου που είναι η μηδενική τιμή της S_0 καθώς τα δεδομένα της εξάτμισης, της απορροής και της βροχόπτωσης εισάγονται ξεκινώντας από τον μήνα Οκτώβριο (αρχή υδρολογικού έτους).

Ακολούθησε πληθώρα δοκιμών με το μοντέλο σε διαφορετικές τιμές των παραμέτρων και αξιολογήσεις με το συντελεστή Nash, ενώ η ικανότητα πρόγνωσης του μοντέλου ελεγχόταν επιπλέον, εξετάζοντας το υπερετήσιο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης. Η βέλτιστη τιμή για το συντελεστή με ρεαλιστικό υδατικό ισοζύγιο είναι 0,70 και επετεύχθη με το συνδυασμό των παραμέτρων που παρουσιάζονται στο σχήμα 6.19. Το ποσοστό βροχόπτωσης για άμεση εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλό ε=0,90 λόγω του σχετικά χαμηλού μέσου υψομέτρου της λεκάνης (629 m) και των σχετικά ήπιων μορφολογικών κλίσεων ανάγλυφου. Αντίθετα οι τιμές των συντελεστών *κ*, *K*, *λ*, H_1, *μ*, οφείλονται στους ημιπερατούς (κοκκώδεις αποθέσεις, οφιόλιθοι κλπ) και υδατοπερατούς (ασβεστόλιθοι) σχηματισμούς. Τελικά εξήχθησαν από το μοντέλο οι χρονοσειρές των παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Σκοπιάς για την περίοδο 1996-2010 (Παράρτημα Ι). Στο σχήμα 6.20 παρουσιάζεται η μηνιαία διακύμανση τους, ενώ στο σχήμα 6.21 εμφανίζεται για την κοινή περίοδο 10ος 2009 έως 12ος 2010, η σύγκριση της παρατηρημένης με την υπολογισμένη από το μοντέλο απορροή.

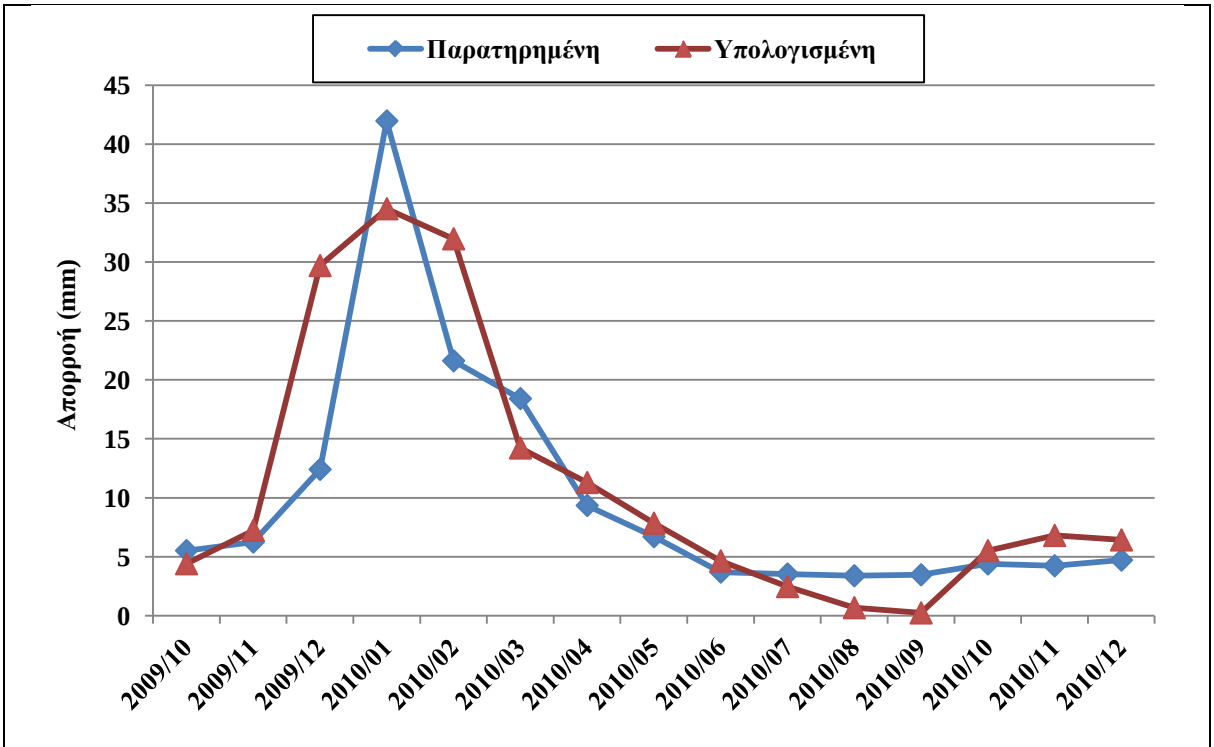


Σχήμα 6.20. Μηνιαία διακύμανση των υπολογισμένων με το αδρομερές μοντέλο Ζυγός παραμέτρων υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης Σκοπιάς για δείκτη Nash 0,70.

Διαπιστώνεται μικρή υπεροχή της παρατηρημένης σε σχέση με την υπολογισμένη απορροή. Το υπερετήσιο υδρολογικό ισοζύγιο σε (mm), ανηγμένο στο σύνολο της λεκάνης (438,79 km^2) που υπολογίστηκε παρουσιάζεται στον πίνακα 6.15.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 64,2% (447,0 mm) των κατακρημνισμάτων, η απορροή το 22,8% (158,7 mm) και η κατείσδυση το 13,0% (90,4 mm). Από τα συνολικά 305,44x10^6 m^3 κατακρημνισμάτων που πέφτουν σε ετήσια βάση στη λεκάνη Σκοπιάς τα

196,14x10^6 m^3 νερού εξατμισοδιαπνέονται, τα 69,63x10^6 m^3 απορρέουν, ενώ τα 39,67x10^6 m^3 νερού κατεισδύουν.



Σχήμα 6.21. Σύγκριση παρατηρημένης και υπολογισμένης από το μοντέλο Ζυγός απορροής για τη λεκάνη Σκοπιάς (συντελεστής Nash:0,70).

Πίνακας 6.15. Προσομοιωμένοι παράγοντες του υδατικού ισοζυγίου της για τη λεκάνη Σκοπιάς για δείκτη Nash 0,70.

	(mm) βροχής	Ετήσιος όγκος (x10^6 m^3)	Συντελεστής (%)
Κατακρημνίσματα (P)	696,1	305,44	100
Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (E_T)	447,0	196,14	64,2
Απορροή (R)	158,7	69,63	22,8
Κατείσδυση (I)	90,4	39,67	13,0

Το σφάλμα επί της ετήσιας τιμής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με χωρική ολοκλήρωση (697,87 mm) ανέρχεται σε 1,77 mm ή 0,3% και θεωρείται αμελητέο.

7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

7.1 Γενικά

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασης, της κοκκομετρίας (κοκκώδεις σχηματισμοί), του βαθμού διαγένεσης και του βαθμού τεκτονισμού που έχουν υποστεί (*Σούλιος* 1975, *Δημόπουλος* 1983). Γενικά μπορεί να ειπωθεί (*Στουρνάρας* 2007) ότι για την κίνηση του υπόγειου νερού και για την αποθήκευση του (επιπροσθέτως) απαιτείται ο συνδυασμός του ενεργού πορώδους και του διαθέσιμου, προς κατανάλωση, υδραυλικού φορτίου. Σαν ενεργό πορώδες (Effective porosity) αναφέρεται το ποσό των διακένων που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν τη ροή του υπόγειου νερού υπό την επίδραση της βαρύτητας ή της υδροστατικής πίεσης. Τα διάκενα που δεν συνεισφέρουν στη ροή αυτή καταλαμβάνονται από νερό συγκράτησης. Στους κοκκώδεις σχηματισμούς το ενεργό πορώδες κυμαίνεται από 0-3% (άργιλος) έως 20% (χαλίκια) (*Βουδούρης* 2009).

Από άποψη οικονομίας νερού σε σειρά σημαντικότητας, πρώτα κατατάσσονται οι υδροφόροι των αλλουβιακών ιζημάτων και ακολουθούν οι καρστικοί υδροφόροι. Στους κοκκώδεις σχηματισμούς, λόγω της υφής τους, το πορώδες και η υδροπερατότητα υφίστανται πρωτογενώς, ενώ στους συμπαγείς σχηματισμούς οι παράμετροι αυτοί εξαρτώνται από την διάβρωση και τον τεκτονισμό τους και δημιουργήθηκαν δευτερογενώς (*Σούλιος* 1975).

7.2 Υδρολιθολογική ταξινόμηση

Η υδρολιθολογική ταξινόμηση επιδιώκει τον διαχωρισμό των σχηματισμών ανάλογα με τη ικανότητά τους να αφήνουν το νερό να διεισδύσει και να κινηθεί μέσα στη μάζα τους με την επίδραση της βαρύτητας. Με βάση τα στοιχεία αυτά, οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς σχηματισμούς, ενώ σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Υδρογεωλόγων (ΙΑΗ) ταξινομούνται σε 6 υδρογεωλογικές ενότητες (3 ενότητες με 2 υποενότητες η κάθε μία) (*Struckmeier and Margat* 1995, *Αντωνάκος* 2012):

1) Πορώδη μη συνεκτικά πετρώματα (α. Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι, β. Τοπικοί ή μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι),

2) Συνεκτικά πετρώματα με δευτερογενή υδροπερατότητα (α. Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι, β. Τοπικοί ή μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι) και

3) Συνεκτικά και πορώδη πετρώματα με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων – άνευ πρακτικής σημασίας (α. Τοπικής σημασίας υπόγεια νερά κυρίως σε ζώνες διάρρηξης και αποσάθρωσης συνεκτικών πετρωμάτων, β. Υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί).

Για την κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας χρησιμοποιήθηκε η συνηθισμένη ταξινόμηση:

α) υδροπερατοί σχηματισμοί: Στην ομάδα αυτή ταξινομούνται οι ανθρακικοί σχηματισμοί, ασβεστόλιθοι, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και οι ανθρακικοί ορίζοντες που αναπτύσσονται εντός των σχιστολίθων. Η περατότητά τους οφείλεται στο δίκτυο των διαρρήξεων, ρωγμών, καρστικών αγωγών και άλλων ασυνεχειών που διασχίζουν τη μάζα τους. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 300 m. Αναπτύσσονται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης του οροπεδίου, ΝΑ του οικισμού Παλαμά και ΒΔ της λεκάνης, ανατολικά και δυτικά του οικισμού της Ομβριακής, καλύπτοντας σχεδόν όλη τη μάζα του Ξεροβουνίου. Οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται, λόγω του δευτερογενούς τους πορώδους, σαν πολύ υδροπερατά πετρώματα δεδομένου ότι εμφανίζουν συντελεστή περατότητας $k=10^{-2}$ - 10^{-6}

(m/sec) (*Σούλιος* 2010). Επιπλέον η πτυχογόνος και ρηγματογόνος τεκτονική, σε συνδυασμό με την κίνηση του νερού, έχουν συμβάλει στην έντονη ρωγμάτωση και καρστοποίηση αυτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη σημαντικής υδροφορίας στο εσωτερικό των μεσοστρωματικών διακένων, τα οποία σχηματίζονται ανάμεσα στις επιφάνειες στρώσης που έχουν πτυχωθεί (*Καλλέργης* 2000, *Στουρνάρας* 2007).

β) ημιπερατοί σχηματισμοί: Σε αυτή την ομάδα ταξινομούνται όλα τα κοκκώδη πετρώματα, στα οποία η περατότητα οφείλεται στους πόρους που υπάρχουν μεταξύ των κόκκων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αλλουβιακές και διλουβιακές αποθέσεις του τεταρτογενούς που αποτελούνται από αργίλους, άμμους, λατύπες, κροκάλες, χαλαρούς ψαμμίτες, πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων, υλικά κοίτης, ποταμοχειμάρια φερτά υλικά και λιμναίες αποθέσεις τύρφης στο πεδινό τμήμα της πρώην λίμνης Ξυνιάδας. Το πάχος τους κυμαίνεται από λίγα μέτρα έως 200 μέτρα και χαρακτηρίζονται από εναλλαγές άμμου, χαλικιών και αργίλων, τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κάθετη ανάπτυξή τους. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται στο κεντρικό και πεδινό τμήμα της λεκάνης του οροπεδίου. Στους ημιπερατούς σχηματισμούς κατατάσσονται επίσης τα διερρηγμένα πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος, κυρίως οι δολερίτες και οι περιδοτίτες που καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος από το δυτικό και νότιο τμήμα της λεκάνης, ανατολικά του οικισμού της Ομβριακής καθώς και νοτιοανατολικά κάτω από τον οικισμό της Ανάβρας.

Στην ίδια κατηγορία ανήκουν επίσης οι κερατόλιθοι, οι ασβεστόλιθοι και τα κροκαλοπαγή που απαντούν σε ενδιαστρώσεις εντός της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης. Επιπλέον στην ίδια κατηγορία ανήκουν οι ψαμμίτες, οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και τα κροκαλοπαγή που βρίσκονται σε παρενστρώσεις εντός του νεογενούς και του σχηματισμού του φλύσχη που απαντάται σε μεγάλη έκταση στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Η ομάδα των ημιπερατών σχηματισμών παρουσιάζει συντελεστή περατότητας $k=10^{-4}$ - 10^{-9} (m/sec) (*Σούλιος* 2010).

γ) υδατοστεγείς σχηματισμοί: Στην ομάδα αυτή ανήκουν οι υπόλοιποι σχηματισμοί, όπως οι άργιλοι και οι μάργες του νεογενούς, βόρεια των οικισμών Μακρολείβαδου και Παλαμά, οι αργιλικοί σχιστόλιθοι της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης που βρίσκονται ανατολικά και βόρεια του οικισμού της Νέας Μάκρισης και οι pillow λάβες του οφιολιθικού συμπλέγματος. Η ομάδα των υδατοστεγών σχηματισμών αφορά πετρώματα πρακτικά υδατοστεγή που η μεγαλύτερη ποσότητα του νερού απορρέει επιφανειακά, ένα άλλο ποσό εξατμίζεται και ένα πολύ μικρό ποσοστό κατεισδύει στη μάζα τους. Σύμφωνα με τον *Σούλιο* (2010) έχουν συντελεστή περατότητας $k=10^{-6}$-10^{-9} m/sec ή ακόμη και $k \leq 10^{-9}$ m/sec.

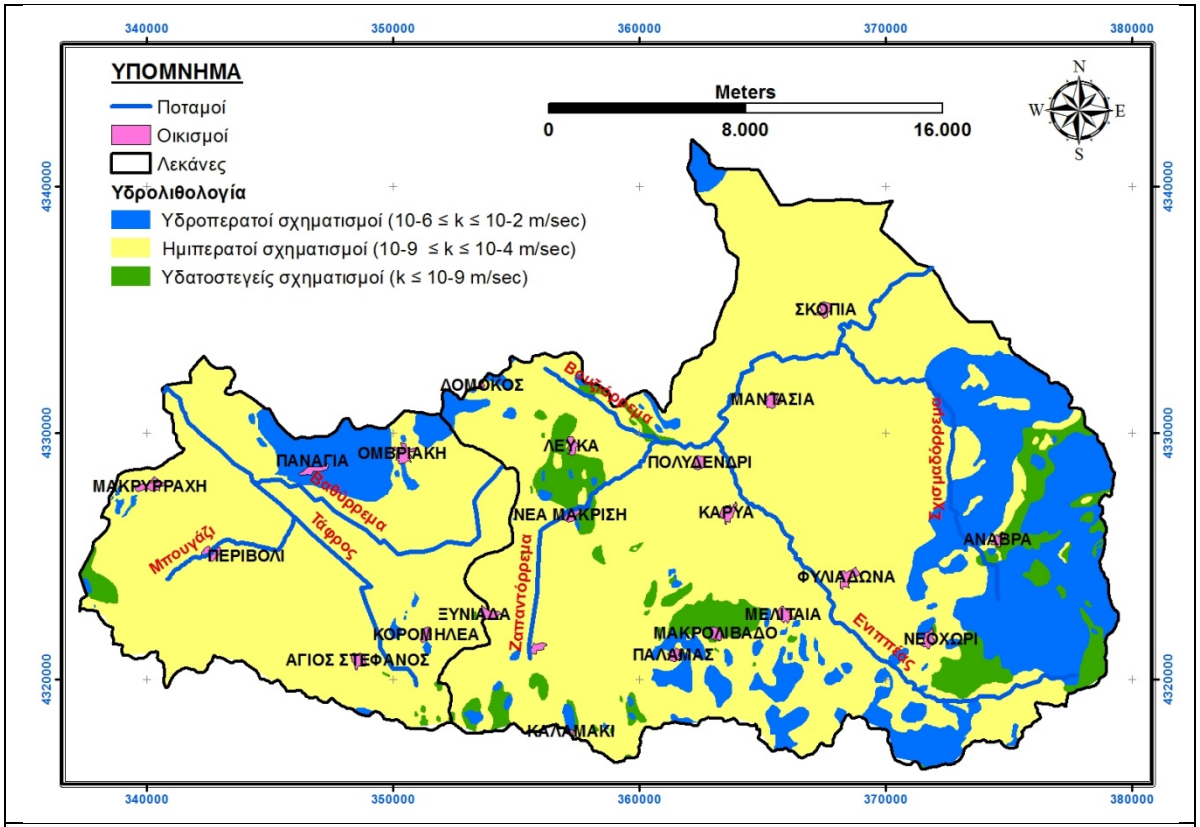
Στο σχήμα 7.1 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή τους, καθώς επίσης τα υδραυλικά χαρακτηριστικά τους (*Σούλιος* 2010). Διαπιστώνεται, ότι στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής έρευνας αναπτύσσονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί, όπως οι τεταρτογενείς χαλαρές αποθέσεις, εντός των οποίων αναπτύσσονται υδροφόροι ορίζοντες σημαντικής υδροφορίας, οφιόλιθοι και φλύσχης. Την δεύτερη θέση καταλαμβάνουν οι ανθρακικοί σχηματισμοί, οι οποίοι, λόγω της έντονης καρστοποίησής τους, αποτελούν τον πλουσιότερο υδροφορέα της εν λόγω περιοχής. Την τρίτη θέση καταλαμβάνουν σχιστόλιθοι, και νεογενή οι οποίοι χαρακτηρίζονται γενικά από περιορισμένη υδροπερατότητα. Στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται το εύρος της επιφανειακής ανάπτυξης των κύριων υδρολιθολογικών ενοτήτων και το ποσοστό που καταλαμβάνουν στο σύνολο της λεκάνης.

7.3 Υδροφορίες

7.3.1 Υδροφορία των καρστικών σχηματισμών

Εντός των καρστικοποιημένων ανθρακικών σχηματισμών φιλοξενείται σημαντική υδροφορία. Ο εμπλουτισμός των ανθρακικών μαζών συντελείται άμεσα μέσω των επιφανειακών κατεισδύσεων. Το υπόβαθρο των καρστικών μαζών αποτελούν, στο μεν δυτικό τμήμα της περιοχής οι οφιολιθικές μάζες, ενώ στο ανατολικό τμήμα οι σχιστόλιθοι.

Ο καρστικός υδροφόρος περιλαμβάνει ένα τμήμα ανθρακικών εμφανίσεων του καρστικού συστήματος της νότιας Όθρυος, του οποίου οι νότιες απολήξεις εκφορτίζονται στην περιοχή Λαμίας και Στυλίδας. Στην περιοχή έρευνας η εκφόρτιση αυτού του υδροφόρου συντελείται μέσω πολυάριθμων πηγών στην περιοχή Νεοχωρίου, Ανάβρας και Παλαμά. Οι παροχές τους κυμαίνονται μεταξύ 4,4 l/s και 16,7 l/s. Οι περισσότερες αναβλύζουν σε όλη τη διάρκεια του έτους και συμβάλλουν στην επιφανειακή απορροή, ενισχύοντας τους υδάτινους όγκους του Ενιππέα. Σε αντίθεση το καρστικό σύστημα της βόρειας Όθρυος, με το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του να βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Ναρθάκιου όρους, εκφορτίζεται μέσω εποχιακών πηγών δυτικά προς την περιοχή των Βρυσιών και ανατολικά προς την περιοχή της Σούρπης.



Σχήμα 7.1. Χωρική κατανομή των Υδρολιθολογικών ενοτήτων του οροπεδίου Δομοκού.

Πίνακας 7.1 Επιφανειακή ανάπτυξη των κύριων υδρολιθολογικών ενοτήτων του οροπεδίου Δομοκού.

α/α	Γεωλογικός σχηματισμός	Επιφανειακή ανάπτυξη (km^2)	Ποσοστό (%) επί του συνόλου
1	**Ημιπερατοί σχηματισμοί** (αλουβιακές αποθέσεις - διερρηγμένα πετρώματα οφιόλιθων - κερατόλιθοι, ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή εντός των σχιστοκερατόλιθων - ψαμμίτες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή εντός του φλύσχη και του νεογενούς)	471,44	77,71
2	**Υδροπερατοί σχηματισμοί** (ανθρακικά πετρώματα)	102,1	16,83
3	**Υδατοστεγείς σχηματισμοί** (άργιλοι και μάργες του νεογενούς, αργιλικοί σχιστόλιθοι της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, pillow λάβες του οφιολιθικού συμπλέγματος)	33,15	5,46
	Σύνολο:	606,69	100

Στην περιοχή ΒΔ της λεκάνης του οροπεδίου, απαντά η καρστική μάζα που καλύπτει σχεδόν όλον τον όγκο του Ξεροβουνίου και εκφορτίζεται κυρίως εκτός οροπεδίου προς τη δυτική πεδινή Θεσσαλία. Τα προηγούμενα χρόνια η πηγή του οικισμού της Παναγιάς αποστράγγιζε τμήμα αυτής της καρστικής μάζας, η οποία πλέον έχει στερέψει μετά την κατασκευή υδρογεωτρήσεων ανάντη της. Ένα ποσοστό του καρστικού νερού του Ξεροβουνίου τροφοδοτεί μέσω πλευρικών μεταγγίσεων την αναπτυσσόμενη υδροφορία των προσχωματικών αποθέσεων. Στην περιοχή αυτή εμφανίζεται ασβεστιτικός τόφος, υδατοστεγής, ο οποίος όμως έχει μεγάλη έκταση κάτω από τις επιφανειακές αργίλους και δημιουργεί υδροφόρους ορίζοντες υπό πίεση (*Σούλιος* 1975) (Σχήμα 7.2).

7.3.2 Υδροφορία των διερρηγμένων σχηματισμών

Οι οφιόλιθοι χαρακτηρίζονται στο σύνολό τους ως υδατοστεγή πετρώματα. Λόγω όμως της εφιππεύσεως και του έντονου τεκτονικού κατακερματισμού, δύναται να εμφανίζουν σχετική υδροπερατότητα και υδροφορία. Στα ανώτερα τμήματα τους διατηρούν το δευτερογενές πορώδες τους, ενώ με αύξηση του βάθους αυτό σχεδόν μηδενίζεται, λόγω πληρώσεως των διακένων από κατερχόμενο, λεπτόκοκκο, κλαστικό υλικό (*Σούλιος* 1975).

Στην περιοχή έρευνας, οι πηγαίες αναβλύσεις των οφιολιθικών πετρωμάτων (πηγές Μπουγαζίου, Αγ. Στεφάνου, Ξυνιάδας) αποδεικνύουν ότι στην μάζα τους διαμορφώνεται σχετική υδροφορία μέσω ασυνεχειών, η οποία είναι τοπικά περιορισμένη ή ασυνεχής και οφείλεται στην τεκτονική καταπόνηση που έχουν υποστεί οι οφιολιθικές μάζες. Αυτή η μεταβλητή συμπεριφορά των οφιόλιθων επιδρά άμεσα και στο υδρογραφικό δίκτυο, καθώς σε ορισμένες περιοχές είναι περισσότερο αναπτυγμένο, ενώ σε άλλες όχι. Το μετεωρικό νερό διηθείται στη μάζα τους και κινείται μέσω των ζωνών διάρρηξης και διακλάσεων σε βάθος, προς επίπεδα αναφοράς, που σχηματίζονται κυρίως από την παρεμβολή διαφορετικής λιθολογίας υλικών των οφιόλιθων.

Επιπρόσθετα πιθανή παρουσιάζεται και κατά θέσεις η μετάγγιση τμήματος της υδροφορίας των οφιόλιθων σε αυτή των σύγχρονων αποθέσεων. Οι υδροπερατοί σχηματισμοί του οφιολιθικού συμπλέγματος είναι οι δολερίτες και οι περιδοτίτες, όπως και οι εγκλεισμένες στο οφιολιθικό σχηματισμό ασβεστολιθικές μάζες, ενώ υδατοστεγανό ρόλο παίζει η σχιστοκερατολιθική διάπλαση. Η παρουσία των σχιστοκερατόλιθων δημιουργεί επίπεδο βάσης της υπόγειας υδροφορίας των οφιόλιθων και αποτελεί την αιτία ανακοπής της υπόγειας ροής και την ανάβλυση του νερού. Οι παροχές των πηγαίων αναβλύσεων κυμαίνονται μεταξύ 0,1 l/s και 0,4 l/s. Οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχθεί στους δολερίτες και περιδοτίτες φθάνουν σε βάθη μέχρι 200 m και παρουσιάζουν παροχές που κυμαίνονται μεταξύ 20-120 m^3/h.

7.3.3 Υδροφορία των σχηματισμών του φλύσχη

Στο ανατολικό τμήμα του οροπεδίου ένα σημαντικό ποσοστό της επιφάνειάς του δομείται από σχηματισμούς του φλύσχη, εναλλαγές ψαμμιτών και αργίλων. Τοπικά αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον η ανάπτυξη των ψαμμιτικών πετρωμάτων. Εντός των διαρρηγμένων ψαμμιτών φιλοξενείται σχετική υδροφορία. Η εκδήλωση της υδροφορίας συντελείται υπό μορφή πηγών μικρής παροχής της τάξης των 0,3 έως 0,5 l/s. Αρκετές υδρογεωτρήσεις εκμεταλλεύονται την τοπικά ελεύθερη και κατά τόπους υπό πίεση υδροφορία για αρδευτικούς σκοπούς. Το βάθος των γεωτρήσεων αυτών κυμαίνεται από 35 έως 120 μέτρα και η παροχή τους είναι της τάξης των 15-25 m^3/h περίπου. Ποσοστό του υπόγειου νερού των ψαμμιτικών οριζόντων συμβάλλει, μέσω πλευρικών μεταγγίσεων, στην τροφοδοσία του φρεάτιου υδροφόρου των τεταρτογενών αποθέσεων της λεκάνης της Σκοπιάς.

7.3.4 Υδροφορία των σχηματισμών του νεογενούς

Στις νεογενείς αποθέσεις βόρεια των οικισμών Μακρολείβαδου και Παλαμά και Β και Ν του οικισμού της Μακρυράχης φιλοξενούνται μικρής δυναμικότητας υδροφορίες εντός των

ψαμμιτικών και κροκαλοπαγών παρενστρώσεων. Η περιορισμένη σε έκταση ανάπτυξη των εν λόγω σχηματισμών δεν προσφέρει στην δημιουργία εκτεταμένων υδροφόρων, παρά την σχετική υδροπερατότητα αυτών. Ο εμπλουτισμός τους συντελείται κυρίως μέσω των επιφανειακών κατεισδύσεων. Μικρός αριθμός εποχιακών πηγαίων αναβλύσεων, χαμηλής παροχής αποκαλύπτουν τη σχετική υδροφορία. Επίσης μικρός αριθμός γεωτρήσεων εκμεταλλεύονται την εν λόγω υδροφορία για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς. Η παροχή τους είναι της τάξεως των 10-25 m^3/h.



Σχήμα 7.2. Υδροφόρος ορίζοντας υπό πίεση.

7.3.5 Υδροφορία των τεταρτογενών αποθέσεων

Γενικά, στη λεκάνη του οροπεδίου από άποψη εκμετάλλευσης των υπόγειων υδάτων, ενδιαφέρον εμφανίζουν οι περιφερειακά εμφανιζόμενοι και εκτεινόμενοι υπογείως σε ολόκληρη την έκταση του πεδινού τμήματος χαλαροί κοκκώδες σχηματισμοί. Οι αποθέσεις αυτές αναπτύσσονται σε ολόκληρη σχεδόν την πεδινή περιοχή, κάτω από τις νεώτερες αργιλικές, ενώ το πορώδες και η υδροπερατότητα ρυθμίζονται από το ποσοστό του περιεχόμενου αργιλικού υλικού. Οι αποθέσεις, λόγω των λιθολογικών και στρωματογραφικών εναλλαγών αδρομερών και λεπτομερών υλικών, δημιουργούν συνθήκες που επιτρέπουν την ανάπτυξη υδροφόρων μικρής έως μεγάλης δυναμικότητας. Έτσι, στον προσχωματικό υδροφόρο σχηματίζονται επάλληλοι υποκείμενοι υδροφόροι ορίζοντες φρεάτιοι ή μερικώς υπό πίεση υδροφορίας οι οποίοι τροφοδοτούνται (ειδικά στις περιόδους μεγάλων πλημμυρών εντονότερα) από:

α) την απευθείας κατείσδυση των βρόχινων νερών,

β) τις πλευρικές διηθήσεις από την υδροφορία των ασβεστόλιθων των ψαμμιτικών οριζόντων του φλύσχη και των οφιολιθικών πετρωμάτων και

γ) την περιοδική πλευρική διήθηση των υδάτων της αποστραγγιστικής Τάφρου και του Ενιππέα ποταμού.

Στην περιοχή της πρώην λίμνης αναπτύσσεται επιπλέον, φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας μικρού βάθους οριακά στην επιφάνεια τους εδάφους ιδιαίτερα στις υγρές περιόδους, γεγονός που οδηγεί σε φαινόμενα αρτεσιανισμού σε υδρογεωτρήσεις της περιοχής. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους:

α) λόγω της μεγάλης ικανότητας διαποτισμού σε νερό που έχουν τα πλούσια με οργανική ύλη αργιλικά επιφανειακά στρώματα των αποθέσεων που αυξάνει σημαντικά το πορώδες τους και

β) εξαιτίας της δυσκολίας επιφανειακής εκφόρτισης του συστήματος που σήμερα πραγματοποιείται μέσω της Τάφρου και του Ενιππέα στα ανατολικά.

Από την εκμετάλλευση των προσχωματικών υδροφόρων με υδρογεωτρήσεις με βάθη από 75 έως 190 m και παροχή 40-80 m^3/h καλύπτονται τοπικές, υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες. Σε αυτόν τον υδροφόρο ορίζοντα, η κίνηση των υπογείων υδάτων έχει παρόμοια κατεύθυνση με αυτή των επιφανειακών: α) Β-ΒΑ στη λεκάνη Σκοπιάς (*ΥΠΕΚΑ* 2012) και β) ΒΔ στη λεκάνη Ξυνιάδας (*Σούλιος* 1975).

Γενικά εκτιμάται, ότι το υπόγειο υδατικό σύστημα της Ξυνιάδος βρίσκεται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης και σε κακή ποσοτική κατάσταση. Αντιθέτως, στο σύστημα υδροφοριών της λεκάνης Σκοπιάς δεν προκύπτουν ενδείξεις συνολικής υπερεκμετάλλευσης του συστήματος, παρά μόνο σε τοπική κλίμακα σε συνδυασμό με τη δυσκολία επαναπλήρωσης των αντλούμενων ποσοτήτων του συστήματος (*ΥΠΕΚΑ* 2012).

8. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΕΔΑΦΩΝ

8.1 Σκοπός της Γεωχημικής έρευνας

Η ποιότητα του εδάφους εξαρτάται από το φυσικό περιβάλλον και τις ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς επηρεάζουν γεωχημικές και γεωφυσικές διεργασίες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την κινητικότητα των στοιχείων. Επιπλέον, οι αυξανόμενες απαιτήσεις για αύξηση της γεωργικής παραγωγής με τη χρήση λιγότερης γεωργικής γης ενθαρρύνει τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων χημικών λιπασμάτων και μαζί με γεωγενείς αιτίες επιβαρύνουν τα εδάφη με βαρέα μέταλλα και στοιχεία. Οι ρυπογόνες δραστηριότητες έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα των εδαφών, συμπεριλαμβανομένων της μεταφοράς βαρέων μετάλλων προς τον άνθρωπο.

Στην παρούσα εργασία σκοπός της γεωχημικής έρευνας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των επικίνδυνων στοιχείων στο έδαφος, σε συνάρτηση με τις εδαφικές ιδιότητες, αλλά και την λιθολογία της περιοχής έρευνας, ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός επιβάρυνσης από φυσικές διεργασίες και ανθρωπογενείς επιδράσεις.

8.2 Δειγματοληψία εδαφών

Στα πλαίσια της γεωχημικής έρευνας μελετήθηκαν τα αποτελέσματα δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε το Σεπτέμβριο του 2010, 34 συνολικά δειγμάτων από εδάφη και γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας. Η αντιπροσωπευτική δειγματοληψία είχε μεγαλύτερη βαρύτητα προς την λεκάνη Ξυνιάδας και λιγότερο αυτής της Σκοπιάς, λόγω της αλλαγής χρήσεων γης μετά την αποξήρανση της λίμνης. Από το σύνολο των δειγμάτων τα 8 από αυτά είναι δείγματα εδαφών που δεν έχουν υποστεί ανθρωπογενείς επιδράσεις. Τα δείγματα αυτά αναφοράς, προέρχονται από το μητρικό πέτρωμα κάθε γεωλογικού σχηματισμού ή από αγροτεμάχια σε αμειψισπορά ή σε πρόγραμμα βιοκαλλιέργειας (Πίνακας 8.1). Η δειγματοληψία αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για το βαθμό επιβάρυνσης των εδαφών, μέσω της σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων.

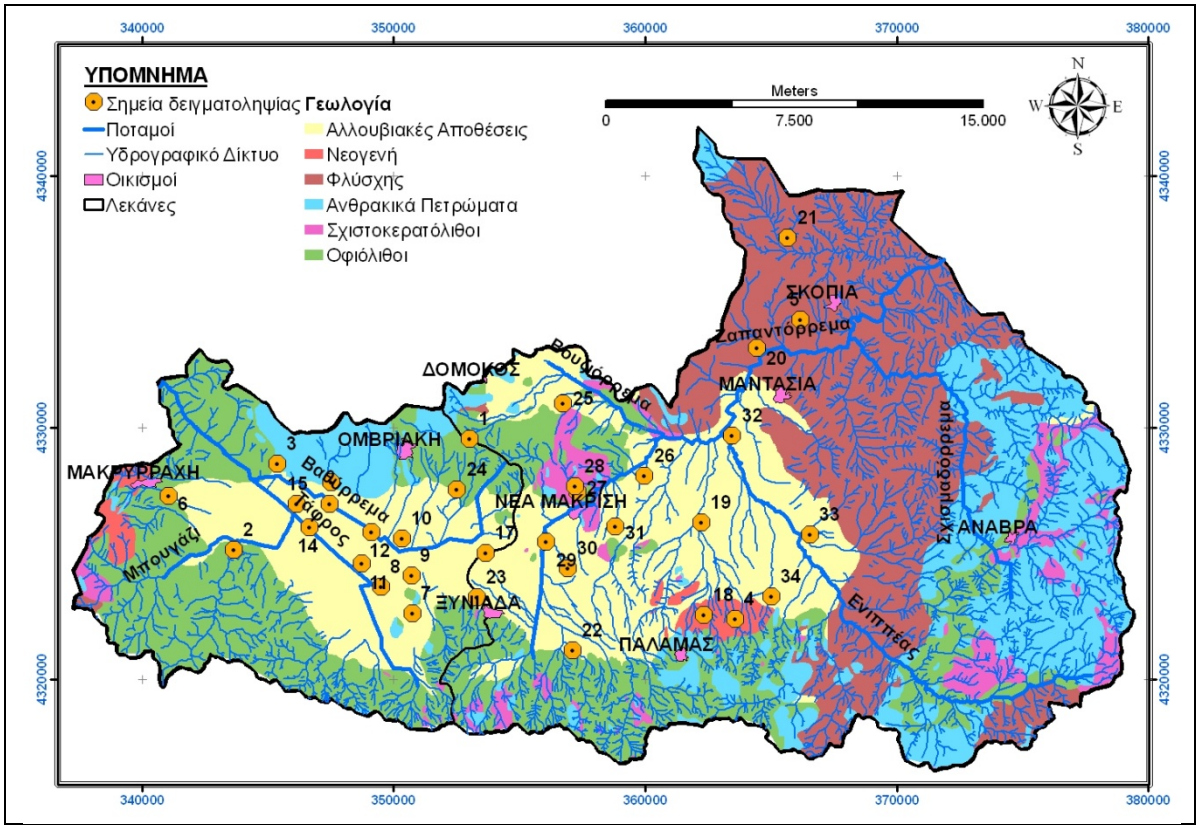
Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των σημείων εδαφοληψίας καταγράφηκαν (ΕΓΣΑ 87) με το GPS Dakota 20 της Garmin (Παράρτημα ΙΙ) και η επιλογή τους έγινε, ώστε να υπάρχει ικανοποιητική χωρική κάλυψη της περιοχής με τη δημιουργία αντιπροσωπευτικού κανάβου δειγματοληψίας (Σχήμα 8.1).

Πίνακας 8.1. Δείγματα πετρωμάτων και εδαφών που δεν έχουν υποστεί ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Δείγμα	**Είδος πετρώματος**	**Δείγμα**	**Είδος Εδάφους**
1	Οφιόλιθοι	**11**	Ακαλλιέργητο Διετίας
2	Οφιόλιθοι-Περιδοτίτης	**28**	Σχιστοκερατόλιθοι
3	Ασβεστόλιθοι	**29**	Βιοκαλλιέργεια 5ετίας
4	Νεογενή		
5	Φλύσχης		

Σε κάθε θέση, με τη βοήθεια εδαφολήπτη, πραγματοποιήθηκε διάνοιξη οπών και συλλέχθηκαν δείγματα μάζας περίπου 2 kg το καθένα, από την εδαφική ζώνη 0 έως 30cm, έτσι ώστε να μειωθεί η ανομοιογένεια των φυσικών υλικών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα. Κατά τη δειγματοληψία απομακρυνόταν η βλάστηση απ' την επιφάνεια για την αποφυγή αλλοίωσης των αποτελεσμάτων. Για να αποφευχθεί η πιθανότητα μόλυνσης, όλα τα εργαλεία καθαρίζονταν μετά τη χρήση τους. Αποφεύχθηκε η χρήση γαλβανισμένων

ή από χαλκό κατασκευασμένων εργαλείων, τα οποία μπορεί να μολύνουν τα δείγματα εδάφους με Zn ή Cu. Μετά τη συλλογή των δειγμάτων το κάθε δείγμα ανακατεύτηκε πολύ καλά, ώστε να γίνει ομοιογενές (*Benton* 2001, *Self and Soltanpour* 2010). Τα εδαφικά δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες, οι οποίες σφραγίστηκαν για την αποφυγή αλλοιώσεων των στοιχείων και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωλογίας–Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστήμιου Αθηνών.



Σχήμα 8.1. Χωρική κατανομή των σημείων δειγματοληψίας εδαφών στην περιοχή έρευνας.

8.3 Μέθοδοι ανάλυσης εδάφους

Τα εδαφικά δείγματα αεροξηράνθηκαν για 20 ημέρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (≈25°C), ενώ ακολούθησε λειοτρίβηση σε γουδί πορσελάνης και έπειτα διαχωρισμός των κλασμάτων με κόσκινο ανοίγματος οπών 2 mm (200 μm).

Οι εργαστηριακές αναλύσεις έγιναν στα μικρότερα των 2 mm (<200 μm) τεμαχίδια, καθώς σε αυτό το κλάσμα περιέχονται οι ποσότητες των ιχνοστοιχείων στα εδάφη που σχετίζονται με ανθρωπογενείς διεργασίες. Σε αντίθεση το >200 μm κλάσμα αποτελείται από θραύσματα πετρωμάτων και περιέχει αρκετά μικρότερη ποσότητα ρυπογόνων ουσιών (*Fernández-Turiel et al.* 2001, *Gallego et al.* 2002, *Mielke et al.* 2004).

Όλες οι εδαφικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Γεωλογίας–Ορυκτολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστήμιου Αθηνών, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα για την εξέταση των εδαφών και προσδιορίσθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι:

- <u>Κοκκομετρική σύσταση με την μέθοδο Βουγιούκου</u>

Κατά τη μέθοδο αυτή, το εδαφικό δείγμα διασπείρεται σε μία στήλη ύδατος και η πυκνότητα του αιωρήματος μετράται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επειδή τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν ταχύτερα από ότι τα λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά (Νόμος Stokes) επιλέγονται οι χρόνοι μετρήσεως της πυκνότητας, έτσι ώστε να έχουν καθιζήσει η άμμος και δεύτερον η άμμος και η ιλύς (η άργιλος παραμένει σε αιώρηση). Κατόπιν υπολογίζεται η εκατοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος. Για την

αποφυγή συσσωματωμάτων χρησιμοποιήθηκε διάλυμα μεταφωσφορικού νατρίου (Na_3PO_4) (*Bouyoukos* 1951).

- Προσδιορισμός pH και δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh).

Πραγματοποιήθηκε σε δείγμα 80g εδάφους / νερού σε αναλογία 1:1 (*McLean* 1982). Το όργανο WTW PH 330i/SET ρυθμίστηκε πριν τη μέτρηση, εμβαπτίζοντας τα ηλεκτρόδια του σε πρότυπα ρυθμιστικά διαλύματα pH.

- Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC).

Πραγματοποιήθηκε σε δείγμα 80g εδάφους / νερού σε αναλογία 1:1 (*McLean* 1982).

- Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας με τη μέθοδο Walkley-Black (*Nelson and Sommers* 1982).

Η μέθοδος στηρίζεται στην υγρή καύση του οργανικού άνθρακα με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο ($K_2Cr_2O_7$) σε ισχυρά όξινο περιβάλλον (πυκνό H_2SO_4). Η ποσότητα του αναλισκόμενου διχρωμικού καλίου προσδιορίζεται με οπισθογκομέτρηση της περίσσειάς του με διάλυμα δισθενούς σιδήρου (*Gaudette et al.,* 1974).

- Προσδιορισμός ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) με τη μέθοδο Bernard.

Η μέθοδος βασίζεται στην ογκομετρική ανάλυση του CO_2 που απελευθερώνεται από το έδαφος υπό την επίδραση HCl και τη σύγκριση με το CO_2 που απελευθερώνεται από καθαρό $CaCO_3$, υπό τις ίδιες συνθήκες (*Duchaufour* 1970). Η μέτρηση του CO_2 γίνεται με ασβεστόμετρο Bernard, το οποίο μετράει την εκλυόμενη ποσότητα CO_2 κατά την αντίδραση συγκεκριμένης ποσότητας εδάφους. Έτσι, προσδιορίζονται όλα τα ανθρακικά άλατα του εδάφους ανεξάρτητα από το κατιόν τους και εκφράζονται ως $CaCO_3$ (%) (*Allison and Moodie* 1965).

- Προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Co και Cr με την πραγματοποίηση τεσσάρων φάσεων απλών (μη διαδοχικών) εκχυλίσεων.

1η φάση: Προσδιορισμός των υδατοδιαλυτών μορφών (αιώρημα εδάφους 1:1)

Σε πλαστικό φιαλίδιο των 200ml τοποθετούνται 80g ζυγισμένου εδάφους μαζί με 80ml απεσταγμένο νερό. Στη συνέχεια ανακινούνται στο αναδευτήρα για 16h στις 140 στρ/λεπτό (rpm). Το διάλυμα οδηγείται στη φυγόκεντρο για 10 λεπτά στις 3.000 rpm και έπειτα διηθείται με φίλτρο Macherey–Nagel MN $615^{1/4}$. Το διήθημα αναλύθηκε φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων (*Emmerich et al.* 1981).

2η φάση: Προσδιορισμός των ανταλλάξιμων μορφών (εκχύλιση με KNO_3 0,5 M)

Σε κωνική φιάλη προστίθεται 1lt απιονισμένου νερού και 50,555g KNO_3 0,5M, οπότε δημιουργείται διάλυμα KNO_3 0,5N. Ζυγίζονται 10g εδάφους και προστίθενται σε πλαστικό φιαλίδιο των 100ml μαζί με 80ml KNO_3 0,5N. Ακολουθεί ανάδευση για 16h στις 140 rpm και φυγοκέντρηση για 10 λεπτά στις 3.000 rpm. Το διάλυμα διηθείται με φίλτρο Macherey–Nagel MN $615^{1/4}$. Το διήθημα αναλύθηκε φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων (*Emmerich et al.* 1981).

3η φάση: Προσδιορισμός συνδεδεμένων μορφών στα οξείδια Fe και Mn και στις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις (εκχύλιση με Na_2EDTA)

Σε φιάλη των 1000 ml τοποθετούνται 18,6g σκόνης Na_2EDTA, όπου μετά από καλή ανάδευση παρασκευάζεται διάλυμα Na_2EDTA 0,05M. Τοποθετούνται 10g δείγματος και 80ml διαλύματος Na_2EDTA σε μπουκαλάκι και στη συνέχεια ανακινούνται στον αναδευτήρα στις 140 rpm για 15h. Ακολουθεί φυγοκέντρηση στις 3.000 rpm για 10 λεπτά. Κατόπιν, σε άλλο μπουκαλάκι, διηθείται με φίλτρο Macherey–Nagel MN $615^{1/4}$ το υπερκείμενο υγρό για να αναλυθεί φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) και να προσδιοριστούν τα βαρέα μέταλλα (*Clayton and Tiller* 1979).

4η φάση: Προσδιορισμός ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων (εκχύλιση με aqua regia)

Σε 1g εδάφους προστίθενται 4ml aqua regia (HNO_3–HCl 1:3v/v) και μπαίνει σε πρόγραμμα του φούρνου μικροκυμάτων (θερμοκρασία 170^{o}C και μέγιστη ισχύς 1000W) για 30΄ (*Perkin–Elmer* 1996). Ο όγκος του δείγματος συμπληρώνεται έως τα 50ml με απιονισμένο νερό. Κατόπιν, σε μπουκαλάκι, με φίλτρο Macherey–Nagel MN $615^{1/4}$ διηθείται το υπερκείμενο υγρό για να αναλυθεί φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) και να προσδιοριστούν οι ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

Από την ολική συγκέντρωση του κάθε στοιχείου, ύστερα από αφαίρεση των τριών πρώτων μορφών, προκύπτει ένα υπόλοιπο φορτίο το οποίο είναι συνδεδεμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών. Τα βαρέα μέταλλα στις μεθόδους $1^η$, $2^η$, $3^η$ και $4^η$ μετρήθηκαν με φασματόμετρο της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου επιλέχθηκε η μέτρηση κάθε δείγματος στα 10sec με 3 επαναλήψεις (συνολικά 30 sec). Το εύρος λειτουργίας του οργάνου κι η ευαισθησία του, ανάλογα με το μετρούμενο στοιχείο, παρουσιάζονται στον πίνακα 8.2.

Πίνακας 8.2. Εύρος λειτουργίας κι ευαισθησία φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908.

Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**		**Εφαρμοζόμενη μέθοδος μέτρησης**		**Οδηγίες**
ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ					
Στοιχείο	**Μέθοδος**	**Όργανο Μέτρησης**	**Μήκος κύματος (nm)**	**Ιδανική περιοχή εργασίας (ppm)**	**Ευαισθησία (ppm)**
Fe (ολικός)	AAS	GBC 908 AA	248,3	2-9	0,05
Mn	AAS	GBC 908 AA	279,5	1–3,6	0,02
Cu	AAS	GBC 908 AA	324,7	1–5	0,025
Zn	AAS	GBC 908 AA	213,9	0,4-1,5	0,008
Cd	AAS	GBC 908 AA	228,8	0,2-1,8	0,009
Pb	AAS	GBC 908 AA	217,0	2,5-20	0,06
Ni	AAS	GBC 908 AA	232,0	1,8-8	0,04
Co	AAS	GBC 908 AA	240,7	2,5-9	0,05
Cr (ολικό)	AAS	GBC 908 AA	357,9	2-15	0,05

Οι υδατοδιαλυτές και ανταλλάξιμες μορφές είναι ευκίνητες και θεωρούνται βιοδιαθέσιμες, ενώ οι συνδεδεμένες στα οξείδια Fe και Mn, στις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις, μπορεί δυνητικά να είναι βιοδιαθέσιμες. Οι συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών είναι δεσμευμένες και ακινητοποιημένες μορφές και δεν είναι διαθέσιμες ούτε στα φυτά ούτε σε μικροοργανισμούς (*Adriano* 1986, *Ma and Rao* 1997, *He et al.* 2005).

Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι για την εκτίμηση της κινητικότητας και βιοδιαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι μέθοδοι απλών και διαδοχικών εκχυλίσεων. Οι πιο γνωστές από τις τελευταίες είναι η BCR όπως αυτή τροποποιήθηκε (*Pueyo et al.* 2008) και η μέθοδος Tessier (*Tessier et al.* 1979). Στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκε η μέθοδος των απλών εκχυλίσεων καθώς διαχωρίζει το

υδατοδιαλυτό και το ανταλλάξιμο κλάσμα, που συνήθως συσχετίζεται με την πρόσληψη από τα φυτά, από τα υπόλοιπα κλάσματα. Αντίθετα, το 1^{ο} στάδιο της BCR αφορά τα υδατοδιαλυτά+ανταλλάξιμα+συνδεδεμένα με τα ανθρακικά άλατα βαρέα μέταλλα, συνεπώς η μέθοδος μειονεκτεί σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα ασβεστίου όπως αυτά της περιοχής έρευνας. Επιπλέον, η μέθοδος Tessier αν και πλεονεκτεί σε αυτή την περίπτωση, καθώς διαχωρίζει το συνδεδεμένο με τα ανθρακικά άλατα κλάσμα από τα υπόλοιπα (2^{ο} στάδιο), τα αποτελέσματά της δεν είναι αποδεκτά σε εδάφη με περιεκτικότητα σε $CaCO_3$ μεγαλύτερη του 16% (*Tack and Verloo* 1995, *Gleyzes et al.* 2002).

8.4 Επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Η πρωτογενής επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τα περιγραφικά στατιστικά των εδαφικών αναλύσεων, πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του Excel 2007 (Microsoft Office). Η απεικόνιση της χωρικής κατανομής των τιμών των παραμέτρων στο χώρο (ισοπεριεκτικές καμπύλες), πραγματοποιήθηκε με την δημιουργία γεωχημικών χαρτών. Η γεωχημική χαρτογράφηση αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1950 για να δώσει πληροφορίες σχετικά με τη χωρική κατανομή των χημικών στοιχείων και ενώσεων στην επιφάνεια της γης (*Johnson and Ander* 2008). Στην παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της γεωστατιστικής εφαρμογής Geostatistical Analyst του προγράμματος ArcGIS 9.3 & 10.0. Η γεωστατιστική εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων περιγράφει τη μεταβολή με την απόσταση και κατά μήκος καθορισμένων διευθύνσεων για ένα πλήθος εδαφολογικών ιδιοτήτων (*Senarath* 2003, *Bai and Wang* 2011, *Abbas and Seyed* 2011). Για το σκοπό αυτό υιοθετήθηκε η μέθοδος των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (IDW), η οποία είναι η ταχύτερη μέθοδος παρεμβολής. Είναι κατάλληλη για την παρουσίαση των περιφερειακών τάσεων και ως εκ τούτου, προσδιορίζει με ακρίβεια το συνολικό χωρικό πρότυπο (*Preston et al*. 1996, *Zhou et al.* 2007) από *Chabukdhara and Nema* (2013).

8.5 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εδαφών

8.5.1 Κοκκομετρική σύσταση

Η Κοκκομετρική ή μηχανική σύσταση του εδάφους είναι μια έκφραση του κυρίαρχου μεγέθους των σωματιδίων/κόκκων που απαρτίζουν ένα έδαφος (*Hillel* 1980) και αναφέρεται στην ποσοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος. Η άμμος (διάμετρος κόκκων 2-0,02 mm) αποτελείται από αποστρογγυλωμένους, γωνιώδεις ή ακανόνιστους κόκκους, η ιλύς (διάμετρος κόκκων 0,02-0,002 mm) αποτελείται από κόκκους με ακανόνιστο σχήμα και η άργιλος (διάμετρος κόκκων <2 μm) αποτελείται από κόκκους πεπλατυσμένους.

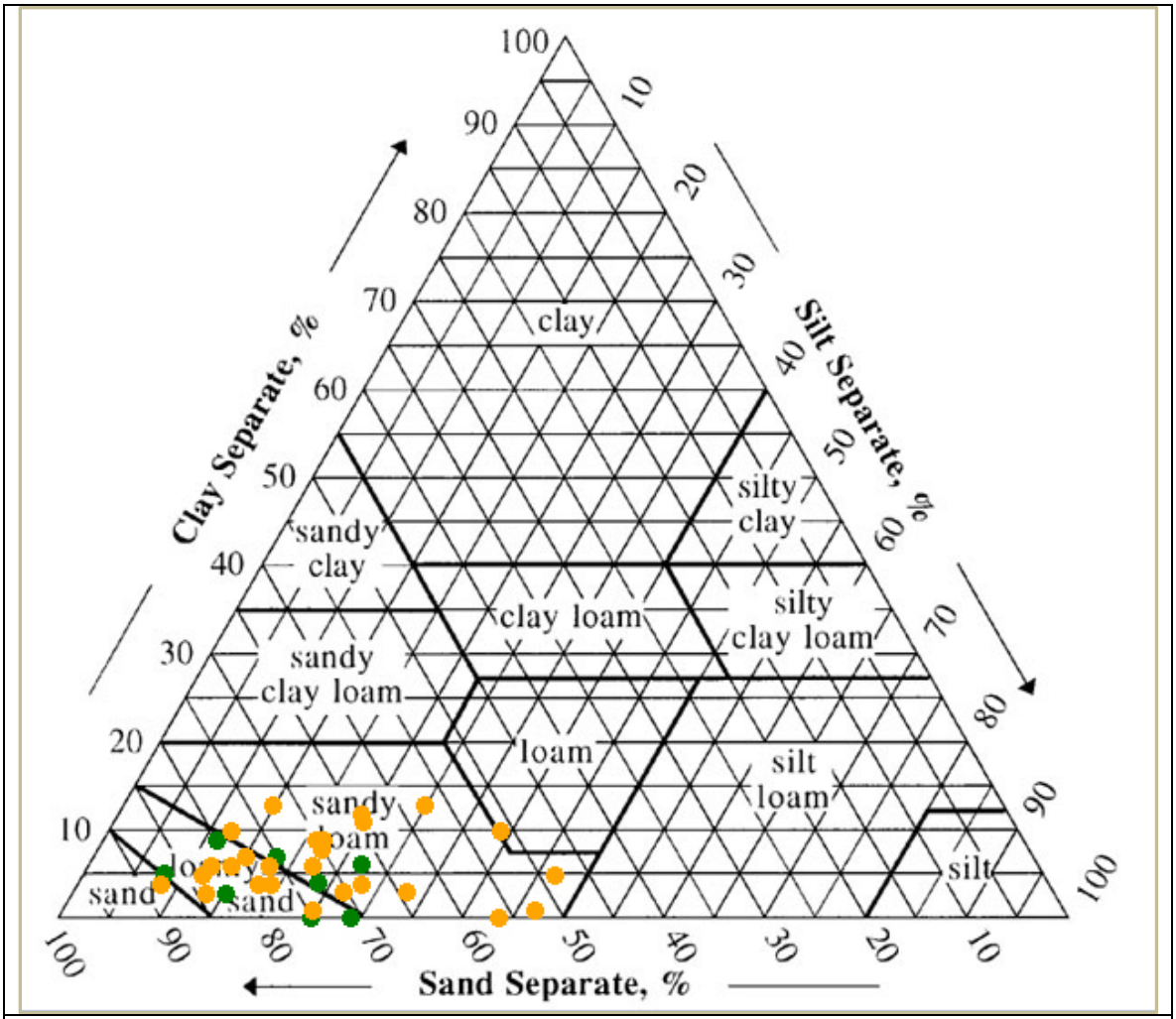
Η κοκκομετρική σύσταση είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών, όπως:

- Την ανοργανοποίηση λόγω του ρόλου της στη σταθεροποίηση της οργανικής ύλης (*Gregorich et al.* 1991, *Wang et al.* 2003).
- Την οργανική ουσία, καθώς αυτή αποσυντίθεται με πιο ταχύ ρυθμό στα αμμώδη εδάφη σε σχέση με τα λεπτόκκοκα, λόγω υψηλότερου διαθέσιμου οξυγόνου για την αποσύνθεσή της.
- Τον αερισμό και τη συνοχή των εδαφών, αφού ο αέρας βρίσκεται στα κενά ανάμεσα στους κόκκους των ανόργανων υλικών και όσο μεγαλύτεροι είναι τόσο περισσότερο διευκολύνεται η κίνηση του αέρα.
- Την ικανότητα συγκράτησης νερού μέσω του πορώδους, καθώς τα πιο χονδρόκοκκα εδάφη κατέχοντας μεγαλύτερους πόρους εκδηλώνουν και μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού απ' ότι τα λεπτόκοκκα εδάφη (*Jury et al.* 1991).
- Τη γονιμότητα και επομένως την παραγωγικότητα, αφού τα αργιλώδη εδάφη, ανάλογα και με την ορυκτολογική τους σύσταση, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη

χημική ενεργότητα, έχοντας μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, αποδίδοντας θρεπτικά στοιχεία στα φυτά.

Με βάση τη μηχανική σύσταση διακρίνονται δώδεκα κλάσεις εδαφών (*Soil Survey Staff* 1999). Οι κλάσεις καταλαμβάνουν ορισμένη θέση και χώρο στο ισοσκελές τρίγωνο μηχανικής συστάσεως, που είναι το βασικό σύστημα ταξινόμησης εδαφών του U.S. Department of Agriculture, και το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την κατάταξη των εδαφών της περιοχής έρευνας (*http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/*) (Πίνακας 8.3, Σχήμα 8.2).

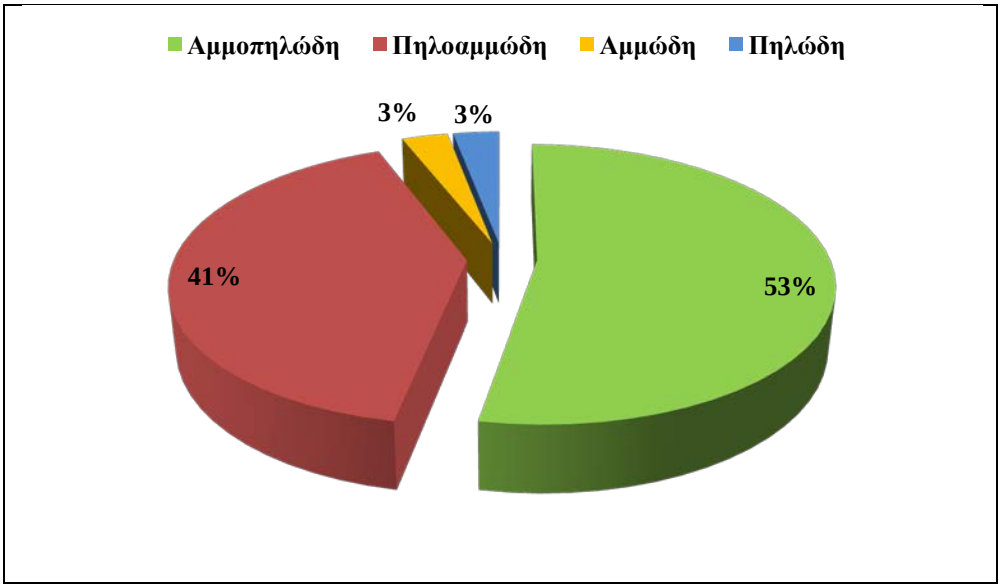
Διαπιστώνεται ότι το 53% των εδαφών ανήκουν στα αμμοπηλώδη, 41% στα πηλοαμμώδη, 3% στα αμμώδη και 3% στα πηλώδη (Σχήμα 8.3). Τα αμμοπηλώδη εδάφη παρουσιάζουν πολύ καλές συνθήκες στράγγισης και αερισμού αλλά σχετικά μικρή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων. Τα πηλοαμμώδη και αμμώδη όπου επικρατεί η άμμος, είναι εδάφη που αερίζονται καλά, θερμαίνονται εύκολα και χαρακτηρίζονται ελαφρά. Είναι εύκολα στην κατεργασία τους, η ικανότητα όμως συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών είναι μικρή και θεωρούνται φτωχά εδάφη.



Σχήμα 8.2. Διάγραμμα ταξινόμησης των κλάσεων της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών της περιοχής έρευνας (*http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/*)
(●: Εδάφη αναφοράς).

Η επικράτηση των μετρίως χονδρόκοκκων έως χονδρόκοκκων κλασμάτων της άμμου, σχετίζεται με το οφιολιθικό και ανθρακικό μητρικό υλικό, από το οποίο έχουν προέλθει κυρίως τα εδάφη της περιοχής έρευνας. Επιπλέον, τα υψηλά ποσοστά της άμμου που

διαπιστώθηκαν, ευνοούν μέσω έκπλυσης την κινητοποίηση και απομάκρυνση βαρέων μετάλλων και στοιχείων από την επιφάνεια προς τα βαθύτερα στρώματα (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).



Σχήμα 8.3. Ποσοστιαία κατανομή των κλάσεων της κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών της περιοχής έρευνας.

8.5.2 Τιμές pH – οξύτητα εδαφών

Το pH του εδάφους είναι ένα μέτρο της δραστηριότητας των ιόντων H^+ στο διάλυμα του εδάφους και ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκεντρώσεως (moles/l) των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα (*Peech* 1965, *Thomas and Hargrove* 1984, *Thomas* 1996):

$$pH = -\log[H^+] = \log(1/[H^+])$$

Το pH είναι ένα μέτρο αξιολόγησης της οξύτητας ή αλκαλικότητας του εδάφους σε μια κλίμακα από το 0 έως το 14. Οι τιμές από το 0 έως 7 χαρακτηρίζουν το έδαφος όξινο, οι τιμές από 7 έως 14 αλκαλικό, ενώ όταν οι τιμές του pH είναι 7 το έδαφος χαρακτηρίζεται ουδέτερο.

Το pH του εδάφους είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στο έδαφος ο οποίος επηρεάζει και καθορίζει τη βιομάζα, τη δραστηριότητα και τη σύνθεση της μικροβιακής κοινότητας *(Lauber et al.* 2008, *Jones et al.* 2009). Ακόμη επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων ελέγχοντας τη διαλυτότητά τους και την προσρόφηση ή τη δέσμευσή τους στη στερεά φάση (*Schroeder* 1984, *Isermann* 2005, *Fageria and Barbosa* 2008). Επιπλέον, από το εδαφικό pH εξαρτώνται η αποσάθρωση του μητρικού πετρώματος, η δραστηριότητα της εδαφικής χλωρίδας και πανίδας και η χουμοποίηση σαν αποτέλεσμα διεργασιών αποσύνθεσης του οργανικού υλικού.

Η οξύτητα των εδαφών επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων και την τοξικότητα (*Sposito* 1989, *Konstantinou* 1992, *Degryse et al.* 2009, *Fernández-Calviño et al.* 2009). Όσο μεγαλύτερο είναι το pH, τόσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα των μεταλλικών ιχνοστοιχείων που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος, με εξαίρεση τα As, Mo και Se (*Adriano* 1986). Ακόμη, υπό όξινες συνθήκες (pH <5,5), επειδή το αργίλιο (Al^{3+}) είναι παρόν σαν ένα ανταλλάξιμο κατιόν, προκαλούνται θρόμβωση λόγω διασποράς της αργίλου αλλά και περισσότερα συσσωματώματα (*http://em-1.stanford.edu/ICPData/ICP-OES/GCLI/sci/CHAP9-95.pdf*). Επιπλέον, η αύξηση του pH αυξάνει τα αρνητικά φορτία

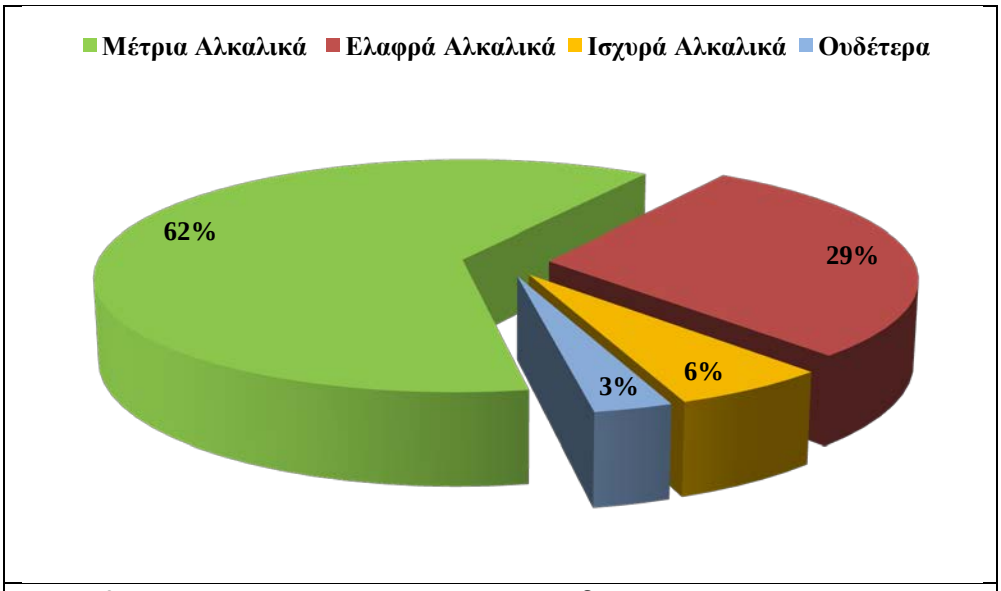
Πίνακας 8.3. Αποτελέσματα των εδαφοχημικών αναλύσεων της περιοχής έρευνας.

Δείγμα	Κοκκομετρία (%)			EC μS/cm	Eh (mvolt)	pH	Οργανική Ουσία (%)	$CaCO_3$ (%)	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (mg)														
									ΟΛΙΚΑ									ΥΔΑΤΟΔΙΑΛΥΤΑ								
	Άμμος	Ιλύς	Άργιλος						Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
1	75,7	23,9	0,5	322	357,4	7,6	1,3	0,1	26.687,50	753,20	98,40	36,75	1,05	14,00	48,05	1.145,00	28,50	2,22	0,02	0,02	0,00	0,02	<0,001	0,09	0,43	0,00
2	71,7	27,9	0,5	202	340,2	8,0	1,9	0,2	55.470,00	653,70	19,10	28,15	0,95	15,00	1.890,00	825,00	230,00	0,40	0,05	0,01	0,02	0,04	1,83	0,14	0,61	0,00
3	67,7	25,9	6,5	392	322,1	8,4	0,6	14,3	7.437,50	620,55	40,30	45,75	1,55	19,00	87,40	310,00	12,00	0,30	0,00	0,01	0,03	0,05	<0,001	0,21	0,25	0,00
4	87,7	6,9	5,5	153	385,4	7,4	1,5	0,0	64.802,50	712,15	73,55	79,25	2,75	10,00	127,75	525,00	79,35	9,10	0,05	0,03	0,02	0,01	1,26	0,04	0,01	0,00
5	75,7	16,9	7,5	141	365,9	7,8	0,7	0,0	44.880,00	421,20	35,50	100,50	1,00	9,00	140,05	575,00	89,90	5,46	0,04	0,01	0,01	0,03	1,23	0,06	0,05	0,00
6	65,0	23,6	11,4	425	310,4	8,1	2,2	32,8	985,10	418,75	26,90	30,25	2,50	5,00	1.700,00	530,00	247,50	0,44	0,03	0,01	0,01	0,02	1,25	0,07	0,04	0,00
7	71,0	25,6	3,4	733	206,9	7,9	30,3	0,8	30.287,50	157,90	13,20	50,75	1,35	16,75	159,45	340,00	54,20	0,42	0,04	0,03	0,03	0,03	1,67	0,11	0,06	0,00
8	53,0	45,6	1,4	843	171,8	8,1	4,6	23,4	39.102,50	448,30	50,25	67,10	2,05	29,35	314,10	422,50	107,55	0,22	0,03	0,04	0,01	0,03	<0,001	0,05	0,22	0,00
9	75,0	23,6	1,4	729	231,6	8,0	4,3	20,2	22.050,00	524,40	39,05	50,10	1,95	27,35	229,45	370,00	42,35	0,44	0,03	0,03	0,00	0,04	0,64	0,06	0,12	0,00
10	57,0	42,6	0,4	786	232,6	8,2	5,2	25,7	19.415,00	764,15	40,60	49,45	2,10	25,85	188,40	395,00	93,10	0,32	0,00	0,03	0,01	0,04	1,06	0,06	0,10	0,00
11	73,0	22,6	4,4	664	240,4	8,5	6,0	22,6	36.970,00	535,65	47,20	57,45	1,75	22,35	243,65	640,00	80,30	0,28	0,03	0,04	0,01	0,03	0,67	0,11	0,03	0,00
12	49,0	45,6	5,4	655	252,6	8,4	5,1	19,7	39.155,00	519,55	61,20	53,45	3,55	22,10	525,35	1.052,50	195,55	0,37	0,06	0,02	0,00	0,05	<0,001	0,09	0,28	<0,001
13	78,7	13,9	7,5	712	231,8	8,4	8,2	39,0	8.677,50	628,65	37,00	43,30	1,45	11,05	242,70	1.010,00	27,15	0,16	0,06	0,03	0,01	0,03	1,71	0,04	<0,001	0,00
14	64,7	31,9	3,5	695	236,9	8,5	8,2	23,6	26.420,00	621,05	52,20	55,45	1,50	5,25	312,85	770,00	98,50	0,24	0,04	0,02	0,01	0,01	<0,001	0,14	<0,001	0,00
15	79,0	16,6	4,3	713	205,9	8,4	8,6	34,4	19.622,50	422,90	37,00	42,85	2,10	8,10	246,85	775,00	38,55	0,25	0,02	0,02	0,00	0,02	1,37	0,07	0,18	0,00
16	52,0	37,6	10,3	338	325,2	8,0	2,9	0,0	48.712,50	653,55	39,30	104,70	1,15	17,85	132,40	800,00	67,85	0,33	0,02	0,00	0,01	0,01	1,17	0,04	0,08	<0,001
17	58,0	28,6	13,3	401	310,8	8,2	1,9	0,1	52.945,00	846,90	87,65	113,40	2,10	6,55	94,85	707,50	106,10	0,26	0,04	0,01	0,00	0,01	1,16	0,07	0,23	<0,001
18	84,0	10,6	5,3	359	341,8	7,7	2,3	0,2	62.630,00	799,75	77,90	115,95	1,75	16,60	166,65	457,50	147,65	1,82	0,01	0,01	0,02	0,01	1,49	0,13	0,43	<0,001
19	77,0	16,6	6,3	509	312,2	7,8	1,3	0,2	58.587,50	778,80	67,70	119,65	1,70	12,05	79,55	770,00	108,25	0,41	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,11	0,17	<0,001
20	73,0	13,6	13,3	289	411,2	7,2	1,3	0,0	27.480,00	452,50	18,65	110,95	0,90	47,10	61,20	697,50	52,65	0,21	0,05	0,01	0,00	0,03	2,06	0,10	0,18	<0,001
21	70,0	20,6	9,3	530	293,5	7,9	2,1	1,0	37.987,50	267,35	32,55	104,15	3,25	16,00	74,10	1.177,50	73,80	0,54	0,00	0,01	0,01	0,01	1,20	0,06	0,20	<0,001
22	72,7	21,0	6,3	236	352,4	7,9	1,4	0,1	21.997,50	898,85	58,05	73,25	1,10	9,60	60,25	377,50	56,70	2,42	0,08	0,01	0,02	0,05	1,52	0,09	0,21	<0,001
23	84,7	12,0	3,3	447	319,7	7,9	2,3	0,3	51.550,00	716,25	62,60	85,45	2,85	21,40	96,10	900,00	87,70	6,37	0,04	0,01	0,03	0,06	<0,001	0,10	0,17	<0,001
24	77,7	18,0	4,3	171	377,4	7,7	1,7	0,1	53.952,50	582,00	107,20	81,10	2,00	29,25	84,70	672,50	119,50	75,86	0,35	0,10	0,09	0,02	0,00	0,08	0,09	<0,001
25	70,7	20,0	9,3	498	327,9	7,9	1,7	0,7	43.355,00	1.008,75	51,05	49,50	1,00	7,10	455,85	420,00	147,50	0,30	0,01	0,01	0,02	0,03	0,15	0,09	0,22	<0,001
26	88,7	7,0	4,3	780	278,1	8,2	3,4	6,7	50.627,50	631,00	66,45	67,45	1,65	34,40	116,70	1.122,50	113,95	0,19	0,02	0,01	0,01	0,01	0,07	0,03	0,06	<0,001
27	82,7	11,0	6,3	554	268,3	8,4	3,3	12,8	31.167,50	766,70	45,90	54,35	0,65	35,80	118,40	677,50	71,70	0,26	0,05	0,00	0,01	0,03	0,03	0,09	0,06	<0,001
28	82,7	14,0	3,3	565	277,1	7,7	4,2	0,1	24.850,00	1.058,45	66,05	118,30	2,10	31,15	190,40	375,00	103,00	0,39	0,01	0,02	0,02	0,03	<0,001	0,12	0,06	<0,001
29	80,7	10,0	9,3	478	345,2	7,4	2,3	0,1	41.627,50	984,70	32,00	60,05	1,05	32,55	68,15	837,50	70,05	0,96	0,04	0,00	0,01	0,07	0,55	0,02	<0,001	0,00
30	78,7	11,0	10,3	701	300,7	7,7	1,7	0,2	46.282,50	467,70	36,45	65,55	0,85	43,00	76,05	537,50	91,50	0,35	0,01	0,00	0,01	0,02	<0,001	0,02	0,02	0,00
31	64,7	23,0	12,3	649	295,8	7,9	2,2	0,1	49.595,00	989,50	53,05	60,35	2,80	18,90	154,45	632,50	139,15	0,19	0,03	0,00	0,01	0,03	0,43	0,01	0,15	<0,001
32	68,7	27,0	4,3	472	276,2	8,3	3,2	6,6	37.245,00	713,10	56,10	70,25	2,20	23,60	121,70	530,00	145,35	0,38	0,04	0,02	0,00	0,01	<0,001	0,02	0,07	<0,001
33	70,7	21,0	8,3	594	270,3	8,3	2,1	2,5	30.317,50	585,00	27,85	61,25	1,15	10,05	84,70	807,50	63,65	0,31	0,01	0,00	0,01	0,00	0,07	0,01	0,05	<0,001
34	80,7	13,0	6,3	301	310,5	7,8	2,1	0,1	49.467,50	898,00	79,05	81,40	2,90	9,10	69,80	837,50	74,50	1,90	0,03	0,00	0,01	0,05	0,19	0,07	<0,001	0,00
Μέση Τιμή	72,4	21,4	6,2	501,1	296,7	8,0	3,9	8,5	37.127,65	655,91	51,09	70,22	1,79	19,48	257,71	677,13	96,03	3,36	0,04	0,02	0,01	0,03	0,67	0,08	0,14	0,00
Τυπική Απόκλιση	10,1	10,3	3,6	202,4	56,4	0,3	5,1	12,1	16.011,52	212,39	22,38	26,76	0,75	11,02	405,94	245,25	53,42	12,96	0,06	0,02	0,02	0,02	0,69	0,04	0,14	0,00
Ελάχιστη Τιμή	49,0	6,9	0,4	141,0	171,8	7,2	0,6	0,0	985,10	157,90	13,20	28,15	0,65	5,00	48,05	310,00	12,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,001	0,01	<0,001	<0,001
Μέγιστη Τιμή	88,7	45,6	13,3	843,0	411,2	8,5	30,3	39,0	64.802,50	1.058,45	107,20	119,65	3,55	47,10	1.890,00	1.177,50	247,50	75,86	0,35	0,10	0,09	0,07	2,06	0,21	0,61	0,00

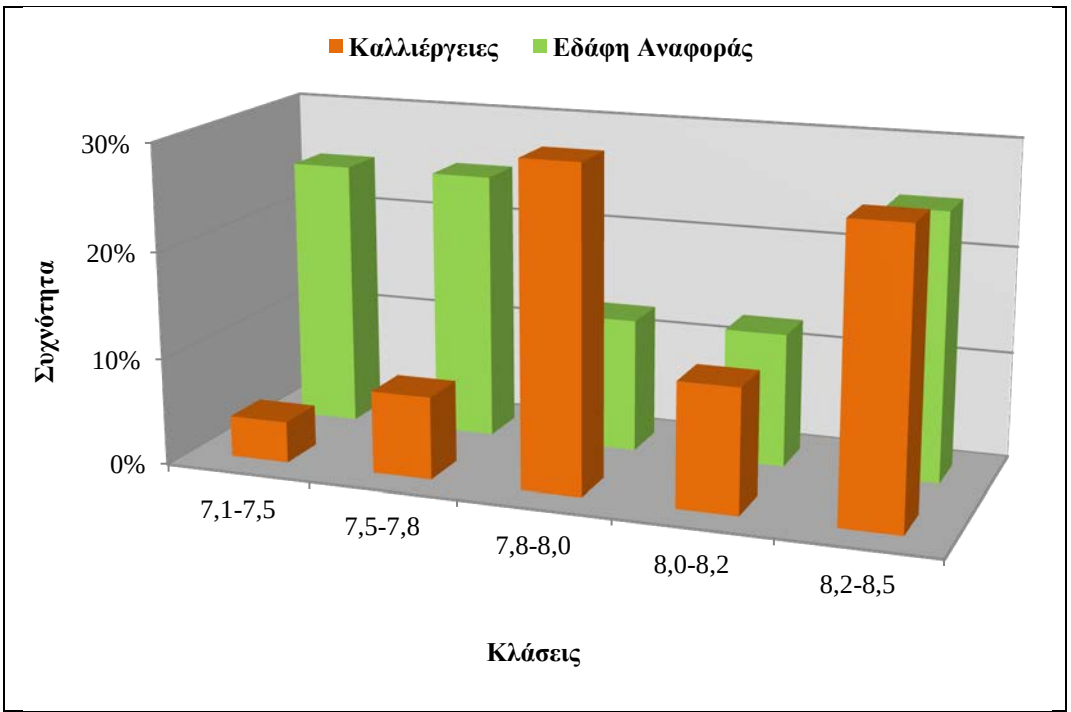
Πίνακας 8.3(συνέχεια). Αποτελέσματα των εδαφοχημικών αναλύσεων της περιοχής έρευνας.

Δείγμα	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (mg)																									
	ΑΝΤΑΛΛΑΞΙΜΑ									ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΜΕ ΟΞΕΙΔΙΑ Fe & Mn, ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΑΚΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ									ΔΕΣΜΕΥΜΕΝΑ ΣΤΟ ΠΛΕΓΜΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ								
	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
1	0,04	10,42	0,03	0,10	0,57	4,26	0,82	0,33	0,15	463,44	400,58	3,48	0,46	0,08	7,80	4,25	7,42	1,52	26.221,80	342,17	94,87	36,19	0,03	1,94	42,89	1.136,82	26,83
2	0,39	2,74	0,04	0,04	0,40	2,54	2,37	1,24	0,25	452,80	272,16	3,38	1,08	0,10	7,15	128,24	6,83	0,16	55.016,41	378,76	15,66	27,01	0,09	3,48	1.759,25	816,32	229,59
3	0,63	0,30	0,01	0,06	0,30	3,58	0,42	0,78	0,23	66,64	152,32	2,63	0,52	0,10	4,52	2,71	1,23	1,12	7.369,93	467,92	37,65	45,13	0,87	10,90	84,06	307,74	10,65
4	1,38	40,28	0,02	0,05	0,03	4,94	0,81	1,58	0,10	490,48	422,40	4,40	0,70	0,11	2,62	4,76	3,10	1,04	64.301,54	249,42	69,11	78,49	2,16	1,18	122,14	520,30	78,21
5	0,92	1,12	0,02	0,08	0,30	4,22	0,18	<0,001	0,06	216,96	274,56	2,93	1,22	0,10	2,45	7,86	8,15	1,28	44.656,66	145,48	32,55	99,20	0,31	1,11	131,95	566,80	88,56
6	0,43	0,63	0,05	0,05	0,02	2,21	0,26	0,60	0,23	65,26	62,56	3,78	0,83	0,04	1,05	31,29	4,98	1,36	918,97	355,53	23,06	29,37	1,98	0,49	1.668,38	524,38	245,91
7	2,07	0,24	0,04	0,02	0,22	0,25	1,97	0,13	0,44	2.371,20	42,19	6,86	2,30	0,07	2,10	14,46	2,85	1,10	27.913,80	115,43	6,28	48,40	0,24	12,74	142,91	336,97	52,66
8	2,34	0,42	0,06	0,02	0,23	3,71	0,24	2,14	<0,001	83,60	122,11	12,95	0,83	0,02	4,94	12,93	2,46	0,10	39.016,35	325,74	37,20	66,24	0,17	20,69	300,88	417,67	107,44
9	1,03	0,72	0,14	0,03	0,18	3,38	1,98	1,72	0,16	71,23	154,79	12,37	0,85	0,11	3,94	13,78	1,74	0,11	21.977,29	368,86	26,52	49,22	0,18	19,39	213,63	366,43	42,07
10	0,54	0,46	0,12	0,04	0,30	2,58	0,34	2,90	0,15	95,22	158,68	11,49	1,14	0,15	2,89	15,68	2,19	0,27	19.318,92	605,01	28,97	48,26	0,33	19,32	172,32	389,81	92,68
11	0,90	0,34	0,10	0,02	0,14	0,50	1,64	2,42	0,28	100,88	194,88	9,76	0,99	0,06	3,30	12,32	1,53	1,20	36.867,94	340,39	37,31	56,43	0,36	17,87	229,58	636,02	78,82
12	2,78	0,88	0,03	0,03	0,26	5,42	0,43	1,09	0,08	120,16	135,36	8,22	1,18	0,02	5,31	11,83	2,51	1,20	39.031,69	383,25	52,92	52,23	2,22	11,37	513,00	1.048,62	194,27
13	0,36	0,59	0,02	0,02	0,23	2,70	0,36	0,56	0,14	74,97	129,21	5,76	1,34	0,01	3,91	16,71	3,08	0,14	8.602,01	498,79	31,19	41,94	0,47	2,73	225,58	1.006,36	26,88
14	2,26	0,84	0,04	0,02	0,42	2,06	0,80	2,18	0,03	96,48	180,88	7,36	1,12	0,09	2,60	14,33	3,13	0,96	26.321,02	439,29	44,78	54,30	0,15	0,59	297,58	764,69	97,51
15	1,86	0,91	0,11	0,07	0,26	1,90	0,26	0,57	0,64	103,38	110,22	7,42	1,47	0,11	4,50	23,61	2,09	0,25	19.517,00	311,75	29,45	41,31	0,89	0,34	222,92	772,16	37,66
16	1,06	1,87	0,04	0,14	0,36	0,43	0,38	0,14	0,21	370,96	523,84	4,90	4,59	0,18	3,89	9,87	8,06	1,28	48.340,15	127,82	34,35	99,96	0,16	12,36	122,12	791,72	66,36
17	2,45	3,14	0,06	0,02	0,02	1,63	0,02	1,79	0,28	434,96	781,36	15,92	2,23	0,10	2,59	21,86	6,10	1,76	52.507,33	62,36	71,65	111,15	0,09	1,16	72,91	699,37	104,06
18	1,95	21,89	0,02	0,04	0,11	1,46	0,01	1,93	0,06	456,16	670,00	6,56	1,65	0,06	1,51	31,35	7,29	1,92	62.170,07	107,85	71,31	114,25	0,81	12,14	135,16	447,85	145,67
19	1,57	4,37	0,02	0,06	0,06	1,05	0,43	2,01	0,15	375,20	633,76	8,16	1,46	0,10	2,90	21,16	20,80	4,00	58.210,32	140,66	59,52	118,13	0,60	8,07	57,85	747,02	104,10
20	2,04	93,18	0,03	0,24	0,04	3,25	1,38	2,80	0,18	207,52	310,72	0,88	0,97	0,42	8,24	5,66	6,71	1,20	27.270,23	48,55	17,73	109,74	0,72	33,56	54,06	687,81	51,27
21	1,62	3,27	0,05	0,10	0,16	2,70	1,54	0,86	0,46	133,36	143,84	0,32	1,53	0,38	0,60	5,18	4,54	1,92	37.851,99	120,23	32,17	102,52	3,04	11,51	67,33	1.171,90	71,42
22	3,28	2,99	0,06	0,30	0,19	5,41	0,06	3,02	0,14	452,40	722,72	6,88	2,67	0,29	0,93	15,09	6,24	0,64	21.539,41	173,06	51,10	70,25	0,00	1,74	45,01	368,03	55,92
23	0,46	5,26	0,03	0,14	0,58	1,02	0,30	0,20	0,04	413,76	553,28	9,44	1,96	0,41	0,25	17,30	7,40	2,56	51.129,42	157,68	53,11	83,32	1,02	20,14	78,41	892,23	85,10
24	2,50	21,96	0,04	0,26	0,21	0,61	0,49	0,19	0,08	334,32	326,48	6,64	1,03	0,80	1,82	11,33	31,84	1,28	53.539,82	233,21	100,42	79,72	0,95	26,83	72,81	640,38	118,14
25	1,19	1,36	0,05	0,22	0,25	0,06	1,02	3,33	0,03	275,84	447,52	5,12	0,74	0,05	6,41	108,00	34,96	3,68	43.077,67	559,86	45,87	48,53	0,08	0,48	346,75	381,50	143,79
26	0,22	0,32	0,06	0,29	0,05	5,28	0,66	0,91	0,19	119,20	239,04	0,16	0,54	0,02	3,21	8,69	5,30	0,72	50.507,88	391,62	66,22	66,61	1,58	25,84	107,32	1.116,23	113,04
27	0,93	0,35	0,04	0,12	0,08	0,88	0,04	2,58	0,39	83,44	270,48	2,64	0,82	0,05	7,05	8,90	3,18	2,24	31.082,87	495,82	43,22	53,40	0,22	27,84	109,37	671,68	69,07
28	0,89	1,97	0,06	0,37	0,33	3,99	0,13	1,46	0,30	603,04	775,04	13,44	26,16	0,06	5,74	70,22	2,61	1,44	24.245,68	281,43	52,53	91,75	0,06	21,42	119,93	370,88	101,26
29	0,43	83,57	0,01	0,26	0,42	2,50	0,70	0,81	0,11	500,32	644,08	4,40	0,98	0,02	4,41	8,63	3,66	1,60	41.125,78	257,02	27,59	58,79	0,02	25,10	58,80	833,03	68,34
30	1,23	5,45	0,10	0,18	0,33	1,64	0,01	0,37	0,14	344,16	363,36	3,60	0,59	0,02	6,66	7,02	5,26	0,96	45.936,76	98,88	32,75	64,78	0,05	34,70	69,00	531,85	90,40
31	1,74	1,16	0,02	0,24	0,41	1,02	1,56	0,31	0,18	316,00	642,48	5,12	0,85	0,04	2,98	14,76	5,69	1,84	49.277,07	345,83	47,90	59,25	1,72	14,46	138,12	626,35	137,13
32	1,46	0,16	0,04	0,18	0,34	1,88	0,05	1,59	0,23	54,56	284,32	4,16	0,57	0,02	4,11	12,18	2,14	2,48	37.188,60	428,58	51,89	69,49	1,34	17,61	109,45	526,20	142,64
33	1,08	0,24	0,02	0,24	0,17	2,62	0,23	1,32	0,10	116,88	240,48	3,04	0,54	0,50	6,40	21,18	1,34	1,44	30.199,23	344,27	24,79	60,47	0,60	0,96	63,27	804,79	62,11
34	1,53	4,08	0,03	0,22	0,06	1,49	1,84	0,74	0,16	343,84	427,20	3,76	1,30	0,46	2,88	22,13	2,78	2,72	49.120,23	466,69	75,25	79,86	2,32	4,54	45,76	833,99	71,62
Μέση Τιμή	1,34	9,34	0,05	0,13	0,24	2,45	0,70	1,31	0,19	317,90	347,44	6,12	1,98	0,15	3,87	21,63	6,45	1,40	36.805,05	299,09	44,91	68,11	0,76	12,49	235,31	669,23	94,45
Τυπική Απόκλιση	0,81	21,70	0,03	0,10	0,15	1,55	0,68	0,96	0,14	399,34	219,83	3,84	4,35	0,18	2,12	27,35	7,71	0,93	15.951,12	151,35	21,66	25,38	0,82	10,53	389,04	245,99	53,31
Ελάχιστη Τιμή	0,04	0,16	0,01	0,02	0,02	0,06	0,01	<0,001	<0,001	54,56	42,19	0,16	0,46	0,01	0,25	2,71	1,23	0,10	918,97	48,55	6,28	27,01	0,00	0,34	42,89	307,74	10,65
Μέγιστη Τιμή	3,28	93,18	0,14	0,37	0,58	5,42	2,37	3,33	0,64	2.371,20	781,36	15,92	26,16	0,80	8,24	128,24	34,96	4,00	64.301,54	605,01	100,42	118,13	3,04	34,70	1.759,25	1.171,90	245,91

των κολλοειδών και επομένως την προσρόφηση κατιόντων, ενώ αντίθετα, η μείωση των τιμών του αυξάνει τα θετικά φορτία και επομένως την προσρόφηση ανιόντων (*Gang et al.* 2006). Οι συνήθεις τιμές pH των εδαφών είναι από 4 έως 8,5, ενώ οι υψηλές τιμές του αποδίδονται στην παρουσία $CaCO_3$ (*Alloway* 1995).



Σχήμα 8.4. Ποσοστιαία κατανομή του pH των εδαφών της περιοχής έρευνας.

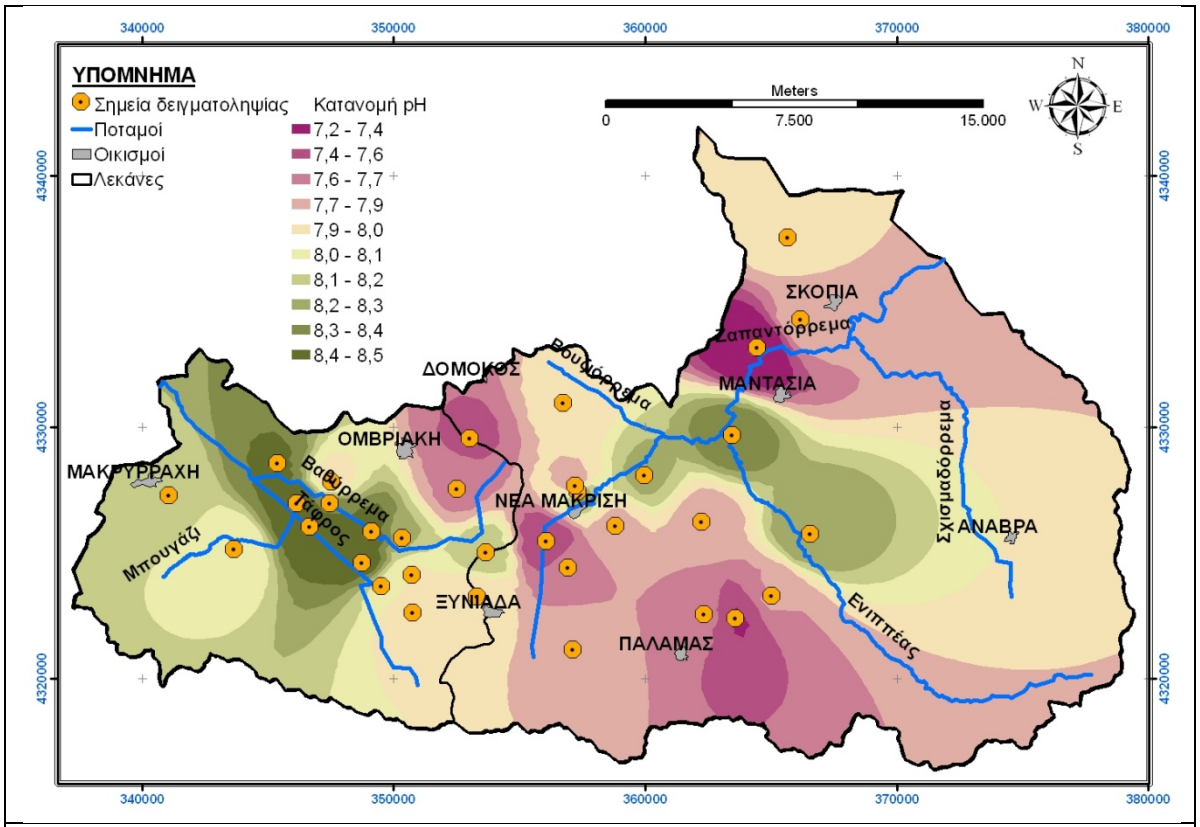


Σχήμα 8.5. Ιστόγραμμα σύγκρισης του pH των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

Από τον πίνακα 8.3 διαπιστώνεται ότι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του εδαφικού pH είναι 7,2 και 8,5 αντίστοιχα. Τα εδάφη στο οροπέδιο Δομοκού χαρακτηρίζονται σε ποσοστό 29% ελαφρά αλκαλικά (pH 7,4 έως 7,8), έως μέτρια αλκαλικά σε ποσοστό 62% (pH 7,9 έως 8,4) (*Αλεξιάδης* 1967) (Σχήμα 8.4). Η σύγκριση μεταξύ των εδαφών δείχνει χαμηλότερες τιμές στα εδάφη αναφοράς, γεγονός που σχετίζεται με την προέλευση των εδαφών (Σχήμα 8.5). Τα εδάφη που προέρχονται από όξινο μητρικό υλικό παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές

pH, σε αντίθεση με εκείνα των οποίων η προέλευση είναι αλκαλικά και ανθρακικά πετρώματα τα οποία εμφανίζουν αλκαλικές τιμές pH (*Πολυζόπουλος* 1985).

Η χωρική κατανομή του pH παρουσιάζεται στο σχήμα 8.6. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλές τιμές του εστιάζονται σε εδάφη των τεταρτογενών αποθέσεων που έχουν προέλθει κυρίως από ανθρακικό μητρικό υλικό, αφού οι υψηλές τιμές του σχετίζονται με την αυξημένη παρουσία $CaCO_3$ στο έδαφος (*Alloway* 1995). Επιπλέον, αύξηση του pH εμφανίζεται σε εδάφη με μεγάλες συγκεντρώσεις $CaCO_3$ και επομένως κορεσμένα σε ιόντα Ca^{2+}. Το pH σε αυτά τα εδάφη, όπως αυτά στην περιοχή έρευνας, κυμαίνεται από 7 έως 8, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις του CO_2 από τις βιολογικές δραστηριότητες (*Brady and Weil* 2001).



Σχήμα 8.6. Χωρική κατανομή του εδαφικού pH στην περιοχή έρευνας.

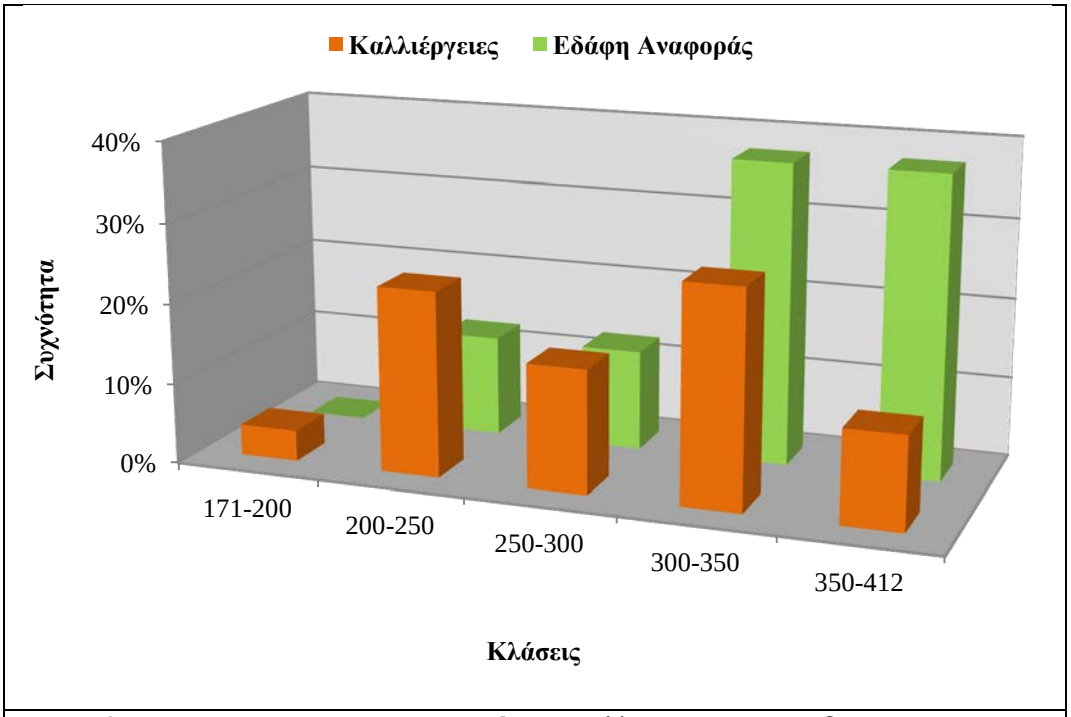
8.5.3 Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Eh)

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής επηρεάζει τη διαλυτοποίηση και την κινητικότητα των ιχνοστοιχείων, τον αριθμό οξείδωσης, με τον οποίο παρουσιάζεται ένα μέταλλο, καθώς και τη δυνατότητα ή όχι σχηματισμού συμπλόκων με οργανικές ενώσεις (*Μήτσιος* 2004).

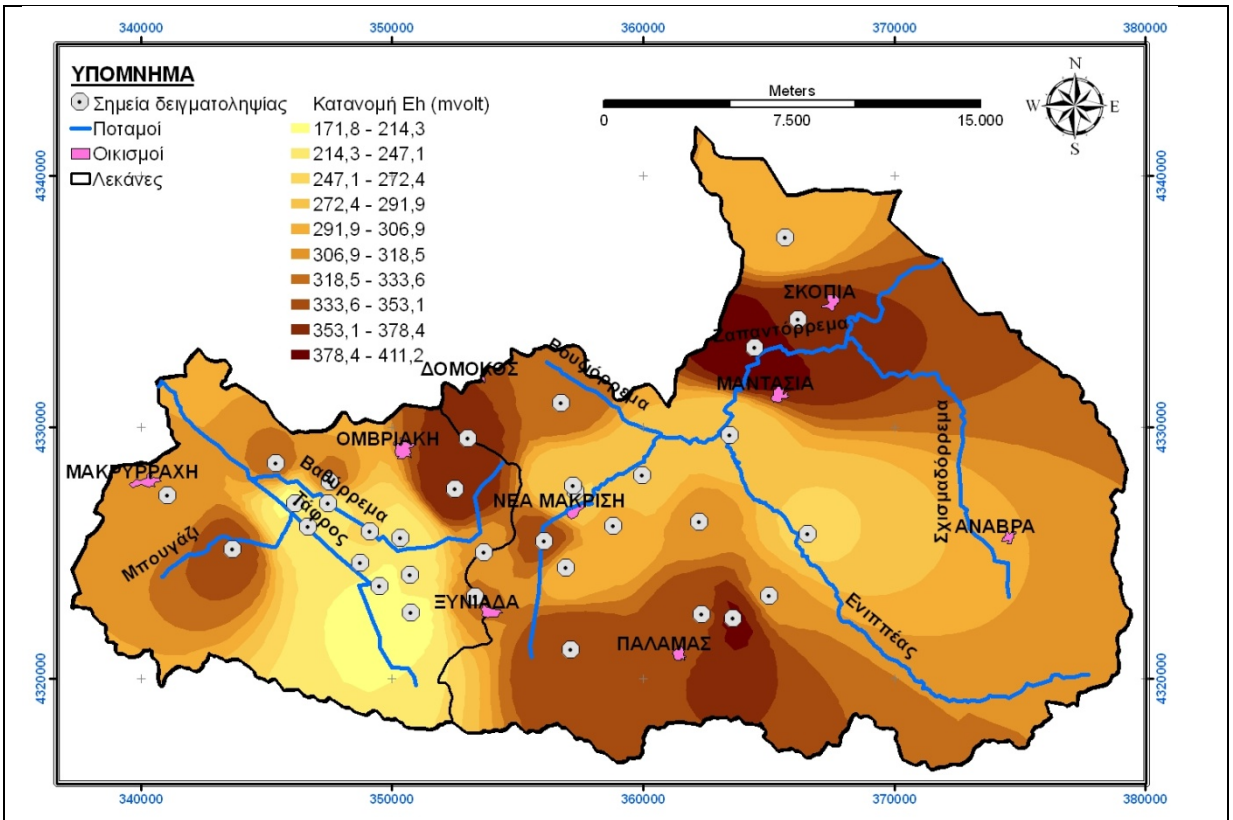
Περισσότερο ευπαθή από τα βαρέα μέταλλα στις εναλλαγές από οξειδωτική σε αναγωγική κατάσταση και αντίστροφα είναι τα Ag, As, Cr, Cu, Hg και Pb (*Sposito* 1980). Επιπλέον, το δυναμικό οξειδοαναγωγής επηρεάζει το pH ειδικά σε εδάφη που κατακλύζονται από νερό και ανάλογα τις οξειδωτικές ή αναγωγικές συνθήκες που επικρατούν. Σε αυτή την περίπτωση το δυναμικό οξειδοαναγωγής κινείται από -400 έως +700 mV, ενώ σε εδάφη που αερίζονται καλά από +400 έως +700 mV (*Gambrell and Patrick* 1978).

Στα εδάφη όπου κυριαρχούν οι αναερόβιες (δηλαδή οι αναγωγικές) συνθήκες, η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων μειώνεται. Αυτό οφείλεται στην καθίζηση τους με S, που προέρχεται από την ένωση HS, η οποία επικρατεί υπό αυτές τις συνθήκες. Αυτό γίνεται λόγω του ότι, υπό αυτές τις συνθήκες τα βακτήρια του εδάφους αναπνέουν αναερόβια και ως τελικό προϊόν δεν έχουν το H_2O, όπως συνήθως αλλά το HS^-. Επιπλέον τα περισσότερα

εδάφη είναι καλά αεριζόμενα λόγω των σύγχρονων μεθόδων της εκμηχανισμένης γεωργίας και επομένως υπάρχει η τάση αύξησης της διαθεσιμότητας των βαρέων μετάλλων (*Αντωνιάδης* 2002).



Σχήμα 8.7. Ιστόγραμμα σύγκρισης του Eh των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.



Σχήμα 8.8. Χωρική κατανομή του δυναμικού οξειδοαναγωγής (mV) στην περιοχή έρευνας.

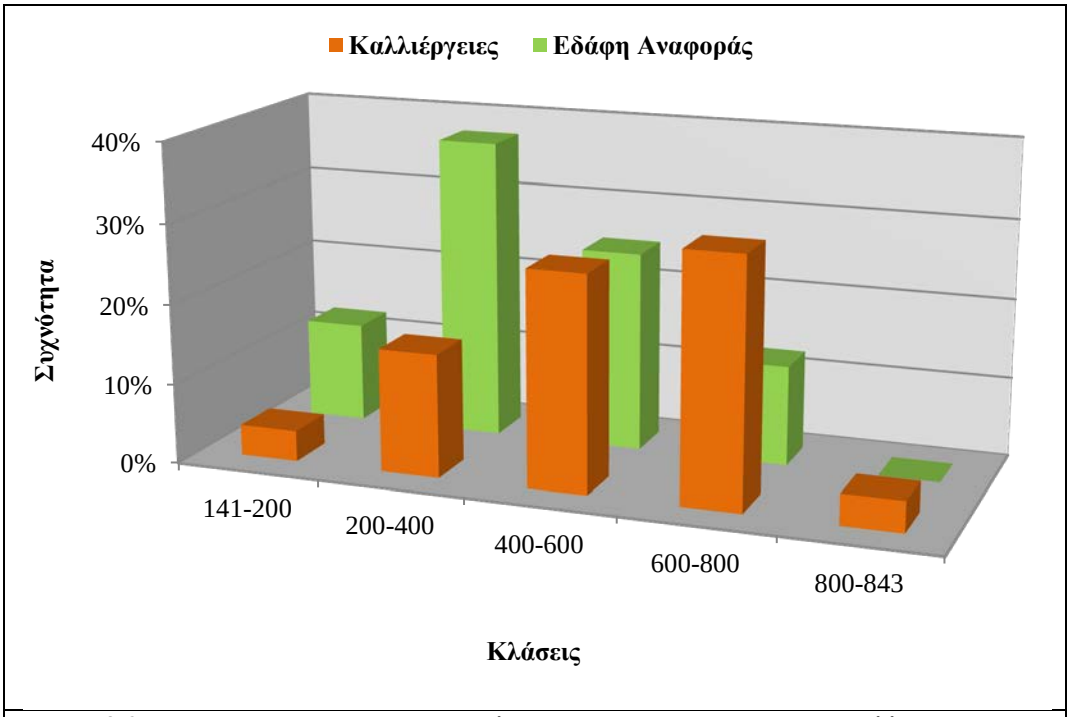
Οι τιμές του δυναμικού οξειδοαναγωγής στα εδάφη της περιοχής έρευνας έδειξαν, ότι επικρατούν οι οξειδωτικές συνθήκες, γεγονός που σχετίζεται με τον καλό αερισμό τους. Η

διακύμανση του Eh ήταν από 171,8 έως 411,2 mV και η μέση τιμή 286,7 mV. Από την εξέταση του σχήματος 8.7 διαπιστώνεται ότι τα εδάφη αναφοράς κινούνται σε υψηλότερες τιμές Eh. Η χωρική κατανομή του δυναμικού οξειδοαναγωγής παρουσιάζεται στο σχήμα 8.8, από όπου διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές του στα βόρεια και νότια περιθώρια του οροπεδίου.

8.5.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει το σύνολο των υδατοδιαλυτών ανόργανων αλάτων του εδάφους που προέρχονται από την αποσάθρωση του μητρικού πετρώματος ή την επίδραση νερού που είναι πλούσιο σε ευδιάλυτα άλατα και μετράται σε μS/cm στους 25^{o}C.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται με το μέγεθος των εδαφικών κόκκων και την κοκκομετρική σύσταση. Έτσι η άργιλος παρουσιάζει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ιλύς μέση και η άμμος χαμηλή (*Williams and Hoey* 1987). Επιπλέον η EC συσχετίζεται σημαντικά με την υδατοϊκανότητα του εδάφους (*Kachanoski et al.* 1988), με την οργανική ύλη και τη μηχανική σύσταση του εδάφους (*Banton et al.* 1997).

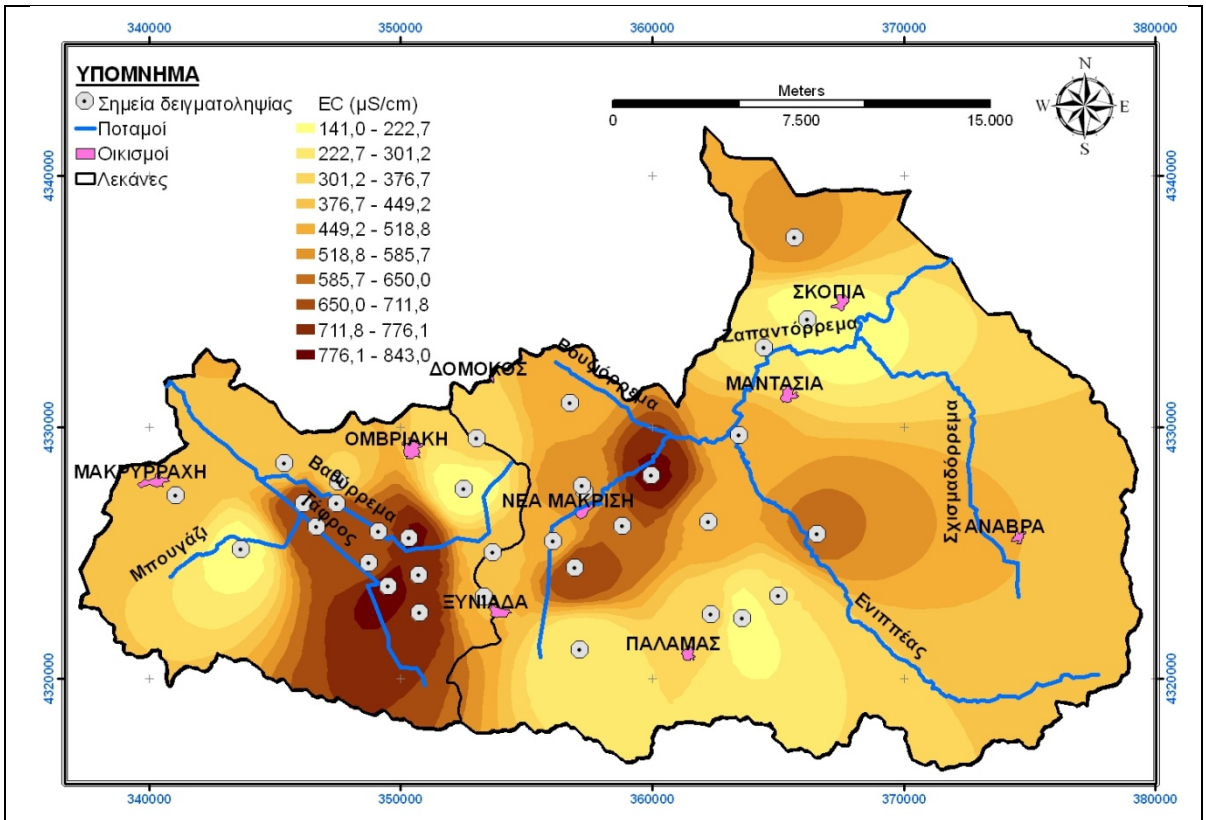


Σχήμα 8.9. Ιστόγραμμα σύγκρισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα εδάφη της περιοχής έρευνας κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, από 141 έως 843 μS/cm με μέση τιμή 501 μS/cm. Τα εδάφη του οροπεδίου Δομοκού αξιολογούνται ως προς την κατάσταση τους χωρίς προβλήματα αλατότητας (*Αλιφραγκής και Παπαμίχος* 1995), ενώ οι χαμηλές τιμές της EC σχετίζονται με τα υψηλά ποσοστά άμμου στη σύστασή τους. Η τελευταία παρατήρηση εξηγεί και τις χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρατηρούνται στα εδάφη αναφοράς, τα οποία εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά άμμου στη σύστασή τους. Η επικρατούσα κλάση σε αυτά είναι η 200-400 μS/cm με ποσοστό 35%, ενώ στα εδάφη των καλλιεργειών η 600-800 μS/cm με ποσοστό 25% (Σχήμα 8.9). Η χωρική κατανομή της E.C. παρουσιάζεται στο σχήμα 8.10 από όπου διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές της στην περιοχή της πρώην λίμνης, γεγονός που σχετίζεται με την παρουσία οργανικής ύλης και την άρδευση με νερό πλούσιο σε άλατα.

8.5.5 Οργανική ουσία

Η οργανική ουσία αποτελεί το σπουδαιότερο παράγοντα σχηματισμού σταθερής δομής, και το βασικό κριτήριο της ποιότητας του εδάφους καθώς είναι η πρωτογενής πηγή θρεπτικών για τα φυτά. Η αύξηση της στο έδαφος αυξάνει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων σε αυτό, (περισσότερο σε μία περιοχή κοντά σε ουδέτερο pH από ότι κάτω από όξινες συνθήκες) (http://em-1.stanford.edu/ICPData/ICP-OES/GCLI/sci/CHAP9-95.pdf). Επιπλέον επηρεάζει θετικά τη θρέψη των φυτών (N, P, S, ιχνοστοιχεία), την γονιμότητα και απόδοση των καλλιεργειών και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους αυξάνοντας την υδατοδιαπερατότητα, την υδατοϊκανότητα και τον καλό αερισμό του (*Αλεξιάδης* 1967, *Moreno et al.* 2006).



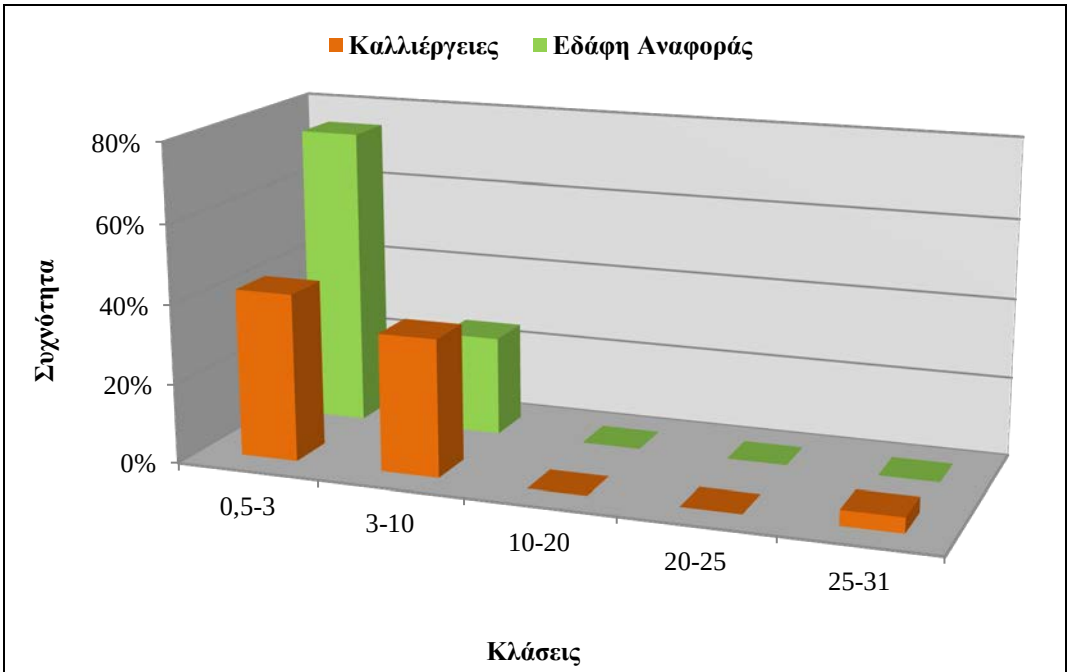
Σχήμα 8.10. Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm) στην περιοχή έρευνας.

Σε όλα τα εδάφη περιέχεται μια ποικιλία από οργανικά υλικά αποτελούμενη από πρόσφατα φυτικά και ζωικά υπολείμματα σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης, καθώς και από ένα υπόλειμμα προϊόν διασπάσεων αλλοιώσεων και συνθέσεων. Το υπόλειμμα είναι ανθεκτικό σε περαιτέρω διάσπαση, με δυσκολία προσδιορισμού της χημικής δομής του και χαρακτηρίζεται ως χούμος (*Πολυζόπουλος* 1985, *Jenkinson* 1988).

Τα εδάφη διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ως προς την περιεκτικότητα τους σε οργανική ουσία, η οποία και εξαρτάται από την φύση τους. Στα καλλιεργούμενα εδάφη η περιεκτικότητα αυτή κυμαίνεται από 0,5-20% (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001), ενώ τα κοινά ανόργανα εδάφη της Ελλάδας περιέχουν συνήθως ποσοστό οργανικής ουσίας κάτω από 2% (*Πολυζόπουλος* 1985). Η μηχανική κατεργασία του εδάφους αυξάνει τον αερισμό του και επιταχύνει το ρυθμό οξείδωσης της οργανικής ουσίας. Επομένως, όταν μια περιοχή καλλιεργείται για πρώτη φορά παρατηρείται μία μείωση της οργανικής ουσίας (*Stevenson* 1986). Αντίθετα, τα εδάφη που δεν αποστραγγίζονται επαρκώς (Aquepts) μπορεί να περιέχουν οργανική ουσία σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10%, ενώ τα τυρφώδη/οργανικά εδάφη (Histosols) μπορεί να περιέχουν οργανική ουσία έως 100% (*Bohn et al.* 2001).

Στην περιοχή έρευνας τα ποσοστά της οργανικής ουσίας κυμαίνονται από 0,6 έως 30,3%

με μέση τιμή 3,9%. Τα εδάφη θεωρούνται ανεπαρκώς εφοδιασμένα (<3%) σε οργανική ουσία (*Βίτσου-Λαμπράκη* 2008) σε ποσοστό 62%. Η αιτία είναι τα υψηλά ποσοστά άμμου που περιέχουν, καθώς λόγω του μεγάλου πορώδες τους, δεν ευνοούν την ανάπτυξη αποσυνθετικών μικροοργανισμών. Η τελευταία παρατήρηση εξηγεί και τα χαμηλότερα ποσοστά οργανικής ουσίας που εμφανίζουν τα εδάφη αναφοράς με επικρατέστερη κλάση την 0,5-3% (Σχήμα 8.11).



Σχήμα 8.11. Ιστόγραμμα σύγκρισης της οργανικής ουσίας (%) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

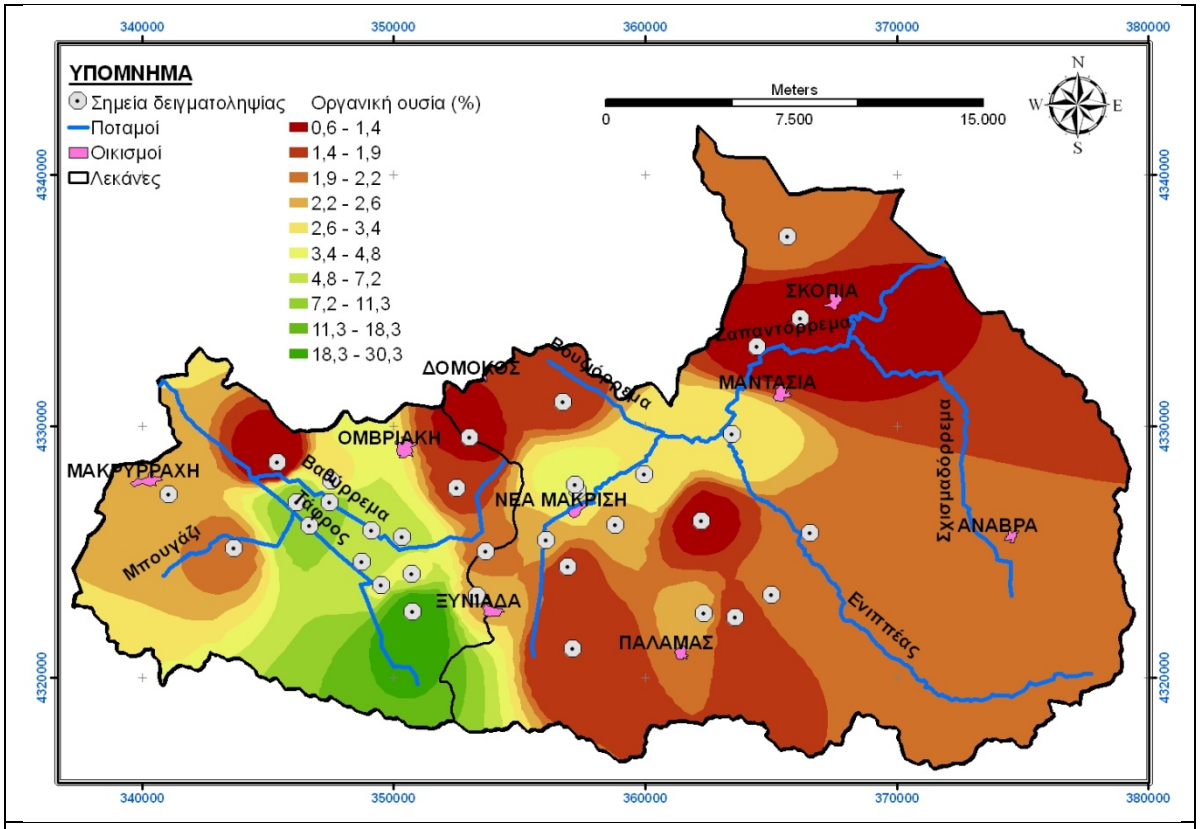
Η χωρική κατανομή του ποσοστού της οργανικής ουσίας παρουσιάζεται στο σχήμα 8.12. Διαπιστώνονται παρόμοιες τιμές οργανικής ουσίας σε μεγάλα τμήματα του οροπεδίου που φανερώνουν παρόμοια εδαφογενετική εξέλιξη. Οι υψηλές τιμές της παρουσιάζονται στην περιοχή του πρώην λιμναίου περιβάλλοντος εξαιτίας της παρουσίας βιογενών πετρωμάτων όπως τύρφη. Στην περιοχή αυτή τα εδάφη χαρακτηρίζονται γόνιμα, λόγω της αυξημένης ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Έχουν καλή δομή και μειωμένη τάση έκπλυσης θρεπτικών στοιχείων, ενώ η οργανική ουσία, σχηματίζοντας σύμπλοκα με τα βαρέα μέταλλα, μειώνει την διαθεσιμότητά τους.

8.5.6 Ισοδύναμο Ανθρακικό ασβέστιο (% $CaCO_3$)

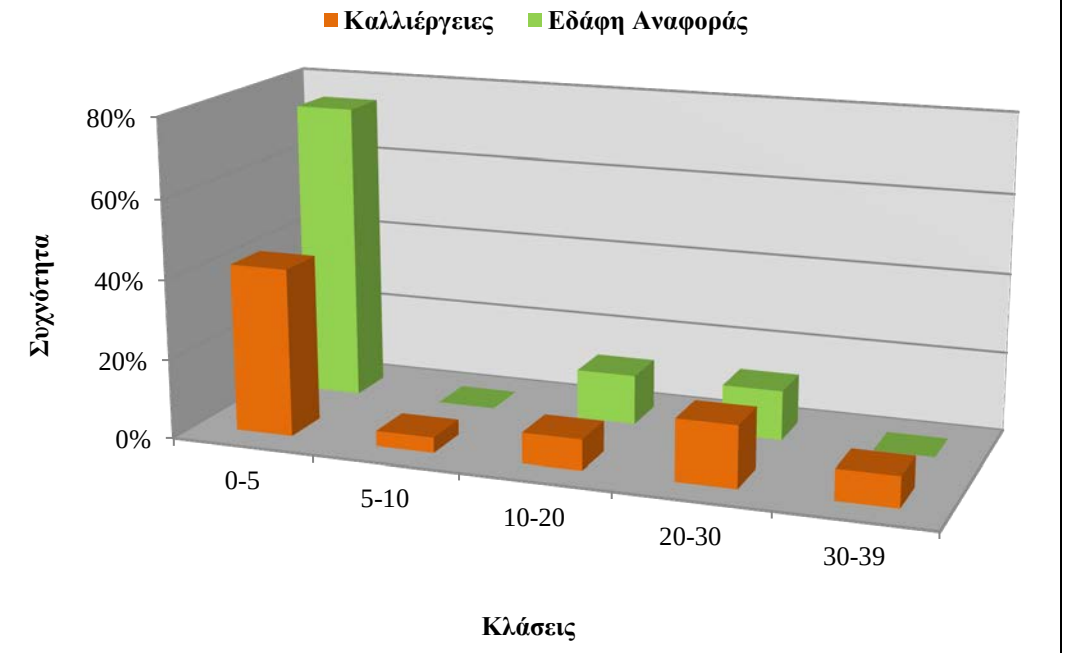
Τα ελεύθερα ανθρακικά άλατα εμφανίζονται στα εδάφη ως αποτέλεσμα διαδικασιών αποσάθρωσης μητρικών ιζηματογενών (ασβεστόλιθοι, δολομίτες κ.α.) και μεταμορφωμένων (μάρμαρα) πετρωμάτων. Αποτελούνται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο και δευτερευόντως από ανθρακικό μαγνήσιο και αλλά ανθρακικά άλατα (*Παναγιωτοπούλου* 2011).

Η διαλυτότητα του $CaCO_3$ είναι αντιστρόφως ανάλογη με το pH, γεγονός που υποδηλώνει τη στενή σχέση των δύο αυτών εδαφικών παραγόντων. Σε εδάφη με pH>8,3 το ενυπάρχον $CaCO_3$ είναι πρακτικά αδιάλυτο και σπάνια απαντάται σε εδάφη με pH<7 (*Αλεξιάδης* 1967, *Πολυζόπουλος* 1985).

Το $CaCO_3$ επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις χημικές ιδιότητες του εδάφους και την κατακράτηση κατιόντων και ανιόντων. Σε ορισμένες δε περιπτώσεις, η παρουσία του είναι πιο σημαντική για τις διεργασίες του εδάφους, από ότι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (*Del Campillo et al.* 1992, *Loeppert and Suarez* 1996).



Σχήμα 8.12. Χωρική κατανομή της οργανικής ουσίας (%) στην περιοχή έρευνας.



Σχήμα 8.13. Ιστόγραμμα σύγκρισης του ανθρακικού ασβεστίου (%) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

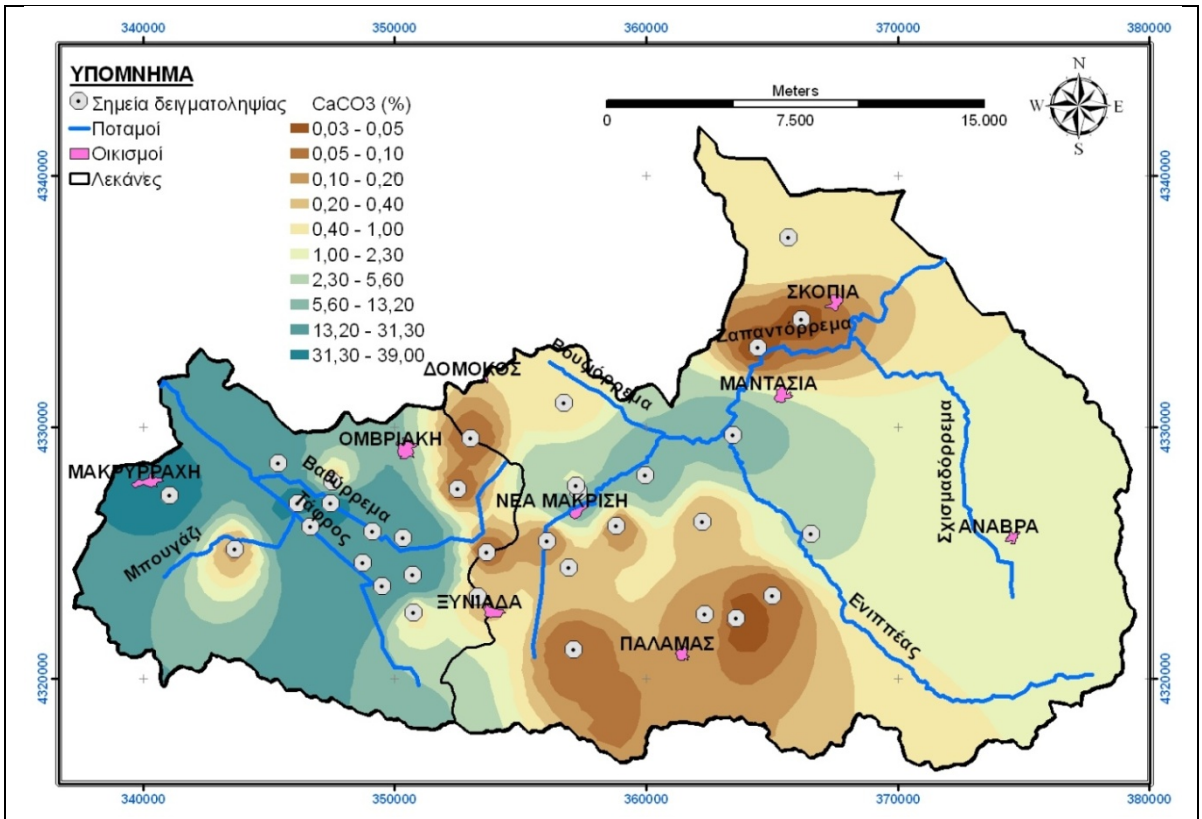
Στα πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο εδάφη η βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων θρεπτικών και αλάτων επηρεάζεται. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα φωσφορικά ιόντα που μετατρέπονται σε αδιάλυτο φωσφορικό ασβέστιο, ενώ τα ιόντα του Fe^{2+} μεταπίπτουν σε αδιάλυτο Fe^{3+}, που δεν μπορεί να δεσμευτεί από τα φυτά (*Αλιφραγκής και Παπαμίχος* 1995). Επιπλέον, σε ασβεστούχα εδάφη η διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων είναι χαμηλή λόγω της

ικανότητας του $CaCO_3$ να σχηματίζει αδιάλυτες ή δυσδιάλυτες ενώσεις όπως $(CuOH)_2CO_3$ ή $Cu(CuOH)_2(CO_3)_2$ (*Karataglis et al.*1981).

Το $CaCO_3$ αποτελεί μια από τις πηγές προμήθειας των εδαφών σε Ca^{2+} που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη συσσωματωμάτων. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία κατάλληλης δομής και ευνοϊκού πορώδους για την καλή στράγγιση και τον αερισμό των εδαφών, συνθήκες που θεωρούνται απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών (*Παπαδέλης* 2009). Η παρουσία του $CaCO_3$ στο έδαφος αποτελεί εγγύηση καλής ποιότητας, ενώ σε υψηλά επίπεδα σημαίνει έδαφος άγονο και προβληματικό με σκληρές συνθήκες για τα φυτά.

Στα εδάφη της περιοχής έρευνας η διακύμανση του ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου είναι από 0 έως 39% με μέση τιμή 8,5%. Ποσοστό 32% των εδαφών χαρακτηρίζονται ασβεστούχα καθώς περιέχουν $CaCO_3$ μεγαλύτερο του 10% (*Μουστάκας* 1997). Οι τιμές αυτές του $CaCO_3$ επηρεάζουν καθοριστικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών αυτών, όπως τις σχέσεις εδάφους νερού και τη δυνατότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων.

Η σύγκριση των δύο ομάδων εδαφών εμφανίζει κοινή επικρατούσα κλάση την 0-5%, ενώ οι υψηλότερες τιμές $CaCO_3$ παρουσιάζονται στα εδάφη εκείνα των οποίων η προέλευση είναι ανθρακικοί σχηματισμοί (Σχήμα 8.13). Η χωρική κατανομή του ισοδύναμου $CaCO_3$ παρουσιάζεται στο σχήμα 8.14 από όπου διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές του στις περιοχές που έχουν προέλθει από μητρικό υλικό ασβεστόλιθων. Η χωρική κατανομής του $CaCO_3$ συγκρινόμενη με την αντίστοιχη του pH (Σχήμα 8.6) δείχνει παρόμοια κατανομή. Το γεγονός παρουσιάζεται ως φυσιολογικό, καθώς τα πλούσια σε ασβέστιο πετρώματα είναι συνήθως υπεύθυνα για τις αλκαλικές τιμές του pH.



Σχήμα 8.14. Χωρική κατανομή του ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου (%) στην περιοχή έρευνας.

8.6 Βαρέα μέταλλα εδαφών

8.6.1 Ολικός σίδηρος (Fe_{tot})

Ο σίδηρος είναι ένα από τα βασικά συστατικά της λιθόσφαιρας, όπου κατέχει ποσοστό 5% με προέλευση κατά κύριο λόγο γεωχημική (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001) και

απαντάται ως δισθενής Fe^{2+} και τρισθενής Fe^{3+}, με τη δισθενή του μορφή να είναι η αφομοιώσιμη από τα φυτά (*Κεραμίδας* 1997).

Η χημική συμπεριφορά του σιδήρου καθορίζεται από τις φυσικοχημικές συνθήκες και είναι στενά συνδεδεμένη με τον κύκλο των στοιχείων O, S και C. Εμφανίζεται έτσι ως οξείδια, όπως ο αιματίτης (Fe_2O_3) και ο μαγνητίτης (Fe_3O_4), τα οποία έχουν μεγάλη ένταση χρώματος που καθορίζει το χρώμα των εδαφών, θειούχα (σιδηροπυρίτης – FeS_2, ιλμενίτης – $FeSO_3$) και ως ανθρακικά $FeCO_3$ (*Μήτσιος* 2004). Οξειδωτικές καταστάσεις και υψηλές τιμές pH οδηγούν σε καταβύθισή του. Αντίθετα αναγωγικές συνθήκες και χαμηλές τιμές pH οδηγούν σε διάλυση των ενώσεων του στοιχείου και αύξηση της διαθεσιμότητας του (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Η περιεκτικότητα του διαλυτού σιδήρου στο εδαφικό διάλυμα είναι πολύ μικρή σε σχέση με την ολική περιεκτικότητά του. Ελέγχεται κύρια από αντιδράσεις υδρόλυσης και συμπλοκοποίησης και καθορίζεται από την παρουσία στο εδαφικό διάλυμα φωσφορικών, θειικών και ανθρακικών αλάτων (*Μήτσιος* 2004). Κατά τον *Lindsay* (1979), η κινητικότητα του στοιχείου ελέγχεται σε σημαντικό βαθμό από τη διαλυτότητα των ιόντων Fe^{2+} και Fe^{3+} και από τα άμορφα ένυδρα οξείδια του σιδήρου.

Οι διαλυτές μορφές του Fe είναι: Fe^{3+}, $Fe(OH)_2^+$, $FeOH^{2+}$, Fe^{2+}, $Fe(OH)^{3-}$ και $Fe(OH)_4^{2}$ και σε συνήθεις τιμές pH, η συγκέντρωση του Fe^{2+} στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνεται από 30 μέχρι 550 μg Fe L^{-1} εδαφικού διαλύματος. Σε πολύ όξινα εδάφη η συγκέντρωση στο εδαφικό διάλυμα ανέρχεται σε 2.000 μg Fe^{2+} L^{-1} (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Οι πηγές σιδήρου ανθρωπογενούς προέλευσης είναι οι βιομηχανίες σιδήρου και χάλυβα και τα λύματα, η σκόνη από την εξόρυξη σιδήρου, ενώ στα καλλιεργούμενα εδάφη συνδέονται με τη χρήση αγροχημικών όπως ο θειικός σίδηρος που χρησιμοποιείται ως λίπασμα και ζιζανιοκτόνο (*Reimann et al.* 2003).

<u>Ολικές συγκεντρώσεις</u>

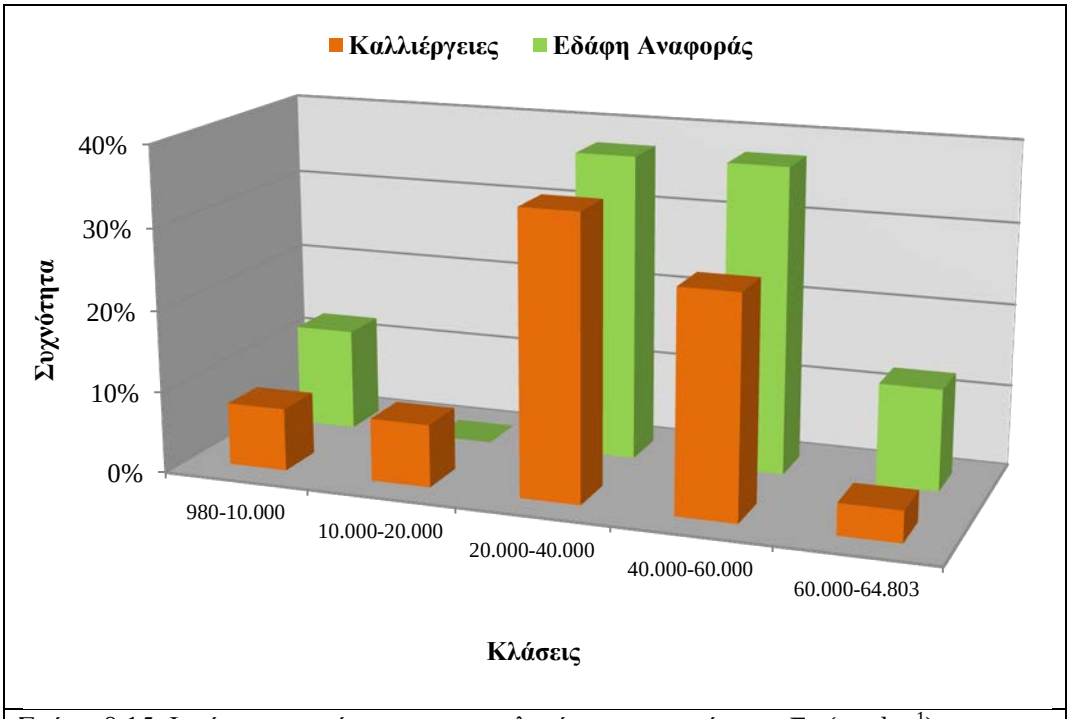
Η διακύμανση των ολικών συγκεντρώσεων σιδήρου στα εδάφη της περιοχής έρευνας είναι από 985,10 έως 64.802,50 mg kg^{-1}, με μέση τιμή και τυπική απόκλιση 37.127,65 και 16.011,52 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Ποσοστό 68% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από 30.000 mg kg^{-1}. Οι υψηλές αυτές τιμές σχετίζονται με την ύπαρξη στα καστανοκόκκινα εδάφη της περιοχής έρευνας, οξειδίων όπως ο αιματίτης (Fe_2O_3) και ο μαγνητίτης (Fe_3O_4).

Η σύγκριση των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς δείχνει και για τις δύο ομάδες την πλειοψηφία των τιμών στις κλάσεις 20.000-40.000 και 40.000-60.000 mg (Σχήμα 8.15). Η ύπαρξη υψηλών τιμών σιδήρου στην περιοχή έρευνας, επιβεβαιώνει την άποψη ότι αποτελεί το στοιχείο της λιθόσφαιρας με τη μεγαλύτερη αφθονία (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Οι ολικές συγκεντρώσεις σιδήρου σε άλλες περιοχές είναι στη Θεσσαλονίκη 3,28% του ξηρού βάρους (*Chrysikou et al*. 2008) και στην περιοχή της Καβάλας 6.350 mg kg^{-1} μέση τιμή (*Παπαστέργιος* 2008). Από την χωρική κατανομή διαπιστώνονται οι υψηλότερες τιμές των ολικών συγκεντρώσεων Fe στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης Σκοπιάς (Σχήμα 8.16).

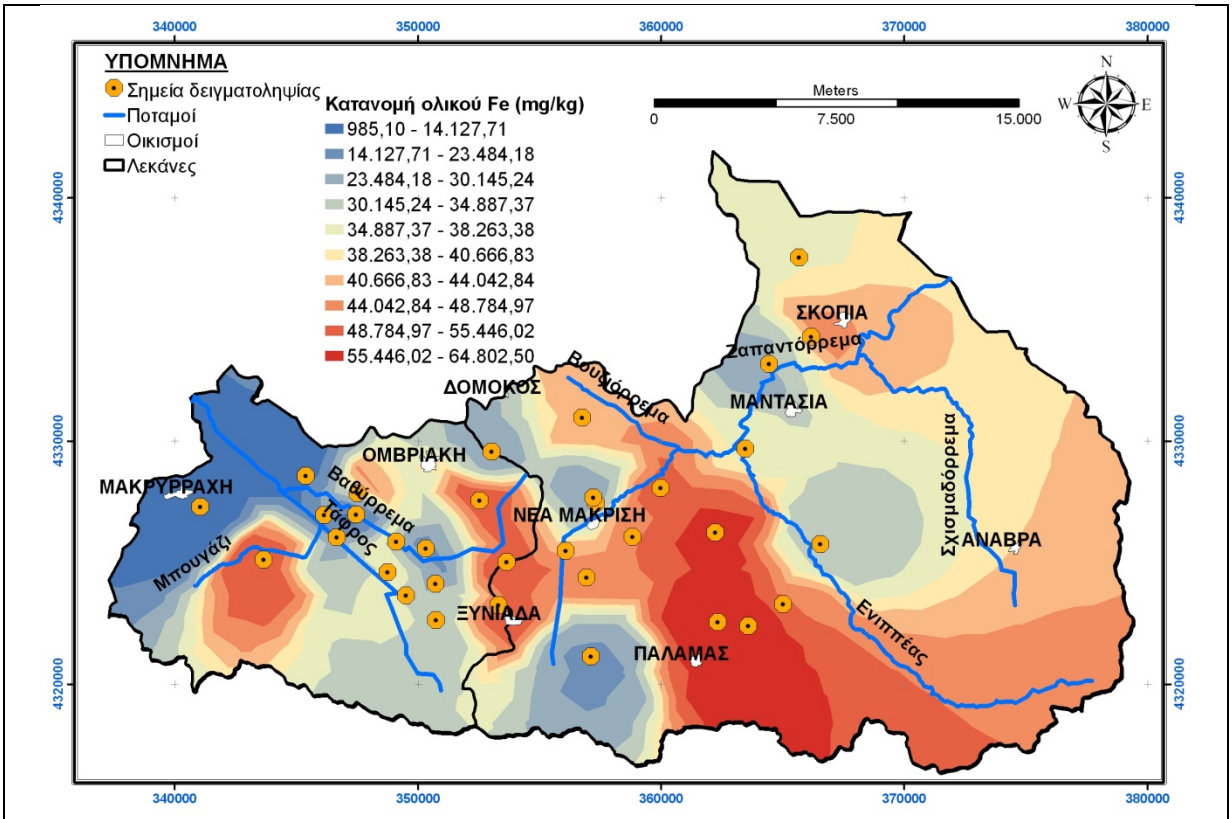
<u>Υδατοδιαλυτές μορφές</u>

Οι συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών σιδήρου κινούνται από 0,16 έως 75,86 mg kg^{-1} με μέση τιμή 3,36 και τυπική απόκλιση 12,96 mg kg^{-1}, ενώ η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι μικρή (0,01%) (Σχήμα 8.17). Αυτό συμβαίνει γιατί ο υδατοδιαλυτός Fe σε σχέση με τις ολικές τιμές του παρουσιάζεται σε μικρότερες συγκεντρώσεις σε εδάφη με υψηλό pH, όπως αυτά της περιοχής έρευνας, καθώς ευνοείται η οξείδωση και επικρατεί με τη μορφή ιζημάτων. Σε αντίθεση, στα όξινα εδάφη όπου ευνοούνται οι αναγωγικές συνθήκες είναι εξαιρετικά κινητικός (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται από την σύγκριση της χωρικής κατανομής των υδατοδιαλυτών μορφών σιδήρου (Σχήμα 8.18α) με αυτές του pH (Σχήμα 8.6), από όπου



Σχήμα 8.15. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Fe (mg kg^{-1})των εδαφών με τα εδάφη αναφοράς.



Σχήμα 8.16. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Fe (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

διαπιστώνονται οι χαμηλότερες τιμές διαλυτού Fe στις περιοχές του οροπεδίου με τις υψηλότερες τιμές pH. Οι συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών σιδήρου παρουσιάζονται υψηλότερες σε σχέση με αυτές των άλλων βαρέων μετάλλων και έχουν σαν

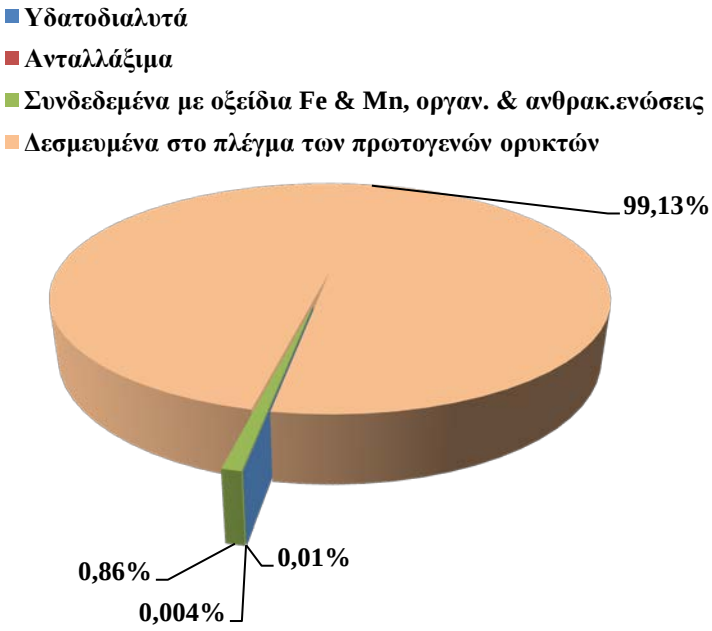
τελικό αποδέκτη τα υπόγεια και επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας, τα οποία και εμπλουτίζουν.

Ανταλλάξιμες μορφές

Οι ανταλλάξιμες μορφές σιδήρου κινήθηκαν από 0,04 έως 3,28 mg kg^{-1}, ενώ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση είναι 1,34 και 0,81 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι σχεδόν μηδενική (0,004%), και χαμηλότερη από τις υδροδιαλυτές μορφές του (Σχήμα 8.17). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την άποψη ότι η αναλογία του ανταλλάξιμου σιδήρου αυξάνεται με την αύξηση του pH σε σχέση με τις διαλυτές μορφές του, οι οποίες παρουσιάζονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα όξινα από ότι στα ουδέτερα και πλούσια σε ανθρακικά άλατα εδάφη. Από τη χωρική κατανομή διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στα νότια του οροπεδίου (Σχήμα 8.18β).

Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

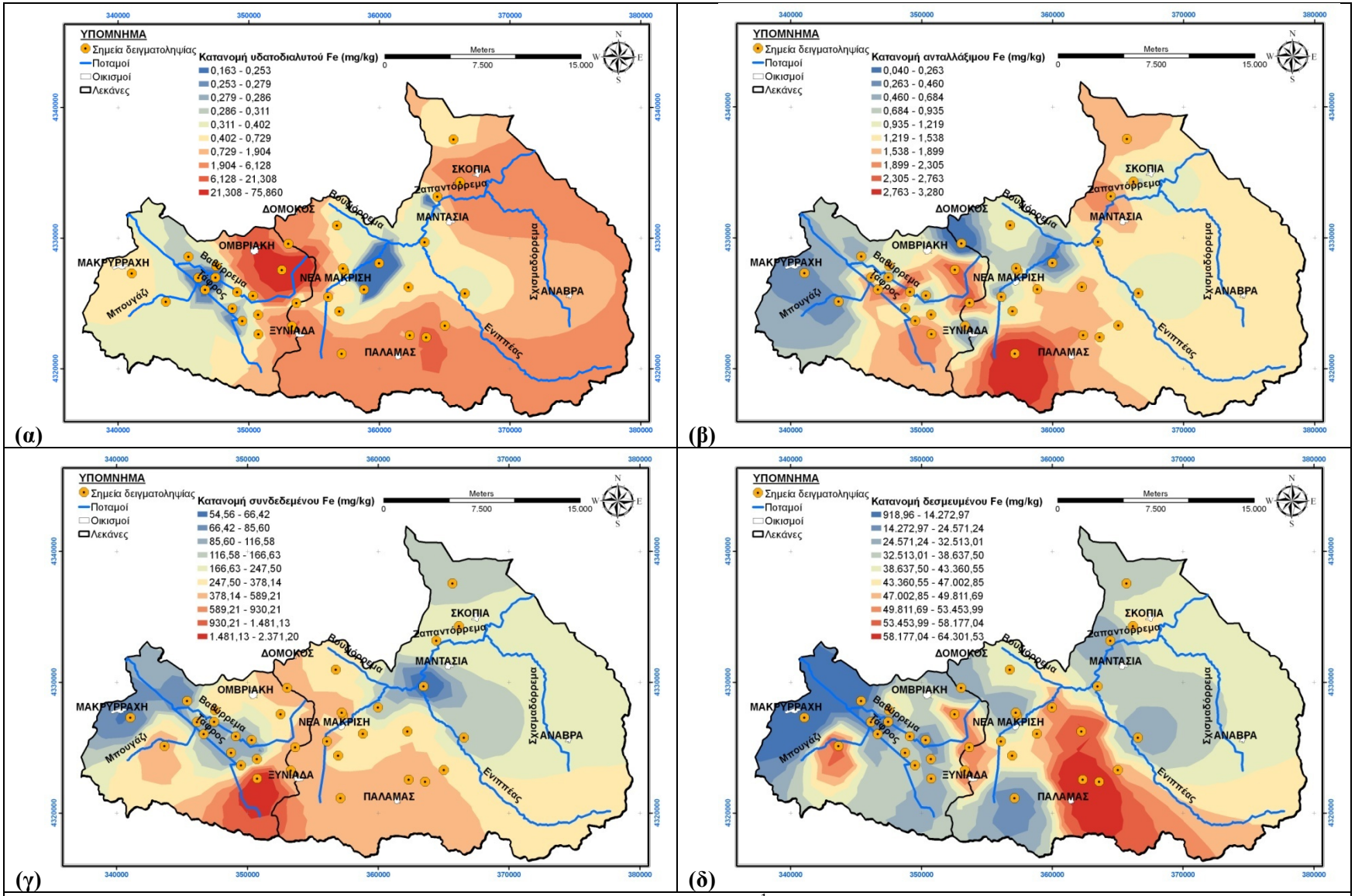
Οι συνδεδεμένες μορφές σιδήρου παρουσιάζουν σημαντική τυπική απόκλιση 399,34 mg, καθώς κινούνται σε ένα σχετικά μεγάλο εύρος διακύμανσης από 54,56 έως 2.371,20 mg kg^{-1} με μέση τιμή 317,9 mg kg^{-1}. Η πλειοψηφία των εδαφών (ποσοστό 53%) εμφανίζουν τιμές από 207,5 έως 603 mg kg^{-1} ενδεικτικό της έντονης παρουσίας οργανικών, ανθρακικών και οξειδίων Fe και Mn στην περιοχή έρευνας. Επιπλέον τα συγκρίματα του Mn παρουσιάζουν ομοκεντρικές στρώσεις και μπορούν να συγκεντρώσουν μεγάλες ποσότητες σιδήρου ή και άλλων μετάλλων (*Μήτσιος* 2004). Από τη χωρική κατανομή οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στην πλούσια σε οργανικά περιοχή της πρώην λίμνης (Σχήμα 8.18γ).



Σχήμα 8.17. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Fe επί των ολικών.

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις σιδήρου παρουσιάζουν πολύ μεγάλη τυπική απόκλιση 15.951,12 mg kg^{-1} ενδεικτική του μεγάλου εύρους διακύμανσης από 918,97 έως 64.301,54 mg kg^{-1}. Η μέση τιμή είναι 36.805,05 mg kg^{-1}, ενώ ποσοστό 91% των εδαφών παρουσιάζουν τιμές πάνω από 19.319 mg kg^{-1}. Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές της έντονης παρουσίας σιδήρου με τη μορφή οξειδίων σε μικρούς αυτόνομους σχηματισμούς (nodules ή concretions) ή καλύπτοντας τις επιφάνειες άλλων ορυκτών (*Μήτσιος* 2004), ή ακόμη στα γεμίσματα ρωγμών και φλεβών των μητρικών πετρωμάτων (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Η χωρική κατανομή (Σχήμα 8.18δ)



Σχήμα 8.18(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Fe (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

δείχνει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις των δεσμευμένων μορφών στο κεντρικό κομμάτι της λεκάνης Σκοπιάς. Προέρχονται από την αποσάθρωση ασβεστόλιθων και παρουσιάζουν ομοιότητα με αυτή των ολικών, λόγω της μεγάλης ποσοστιαίας συμμετοχής τους επί αυτών.

8.6.2 Μαγγάνιο (Mn)

Το Mn απαντάται στα εδάφη με τις μορφές Mn^{2+}, Mn^{3+} και Mn^{4+}, οι οποίες βρίσκονται στα ορυκτά σε ενώσεις με οξυγόνο, πυρίτιο και ανθρακικά άλατα, ενώ η δισθενής μορφή του στοιχείου είναι αφομοιώσιμη από τα φυτά (*Κεραμίδας* 1997). Η ολική συγκέντρωση του Mn στα εδάφη κυμαίνεται από 100-4.000 mg kg^{-1}, ενώ η συγκέντρωσή του στο εδαφικό διάλυμα κυμαίνεται από 25 μέχρι 8.000 μg L^{-1} στα πολύ όξινα εδάφη (*Hodgson et al*. 1965, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Το Mn περιέχεται σε όλα τα πετρώματα του φλοιού της γης σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις από τα άλλα ιχνοστοιχεία, με εξαίρεση το σίδηρο. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Mn (>1000 mg Mn kg^{-1} πετρώματος) παρουσιάζονται στα βασικά πυριγενή πετρώματα, όπως στο βασάλτη, ενώ στους σχιστόλιθους το Mn μπορεί να κυμαίνεται από 200-1.000 mg Mn kg^{-1} πετρώματος (*Μήτσιος* 2004). Αυτό οφείλεται στη σύνδεση του Mn με το Fe στις γεωχημικές διεργασίες, με το κύκλο του να ακολουθεί αυτόν του σιδήρου στα γεωχημικά περιβάλλοντα (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007).

Το Mn συνήθως βρίσκεται στα εδάφη με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων, τα οποία έχουν τη μορφή περιβλήματος στα εδαφικά σωματίδια (*Bartlett* 1986) και τα οποία δύναται κάτω από συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες να δεσμεύσουν τα στοιχεία Ca, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb και Sr (*Tonkin et al*. 2004). Η διαλυτότητα και διαθεσιμότητα του Mn αυξάνεται αν στο έδαφος επικρατούν οι αναγωγικές συνθήκες ή το pH του εδάφους είναι όξινο. Σε ορισμένα δε όξινα εδάφη (pH < 5,5) υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης φυτοτοξικότητας Mn (*Adriano* 1986, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Η παρουσία του Mn στα εδάφη σχετίζεται εκτός από την αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων και με τη χρήση λιπασμάτων. Η προσθήκη Mn στο έδαφος γίνεται συνήθως με τη μορφή του $MnSO_4$ ή του MnO ή με λιπάσματα τα οποία περιέχουν ιχνοστοιχεία. Οι ποσότητες του Mn που προστίθενται στο έδαφος είναι <10 μέχρι και >100 kg Mn ha^{-1} (*Μήτσιος* 2004).

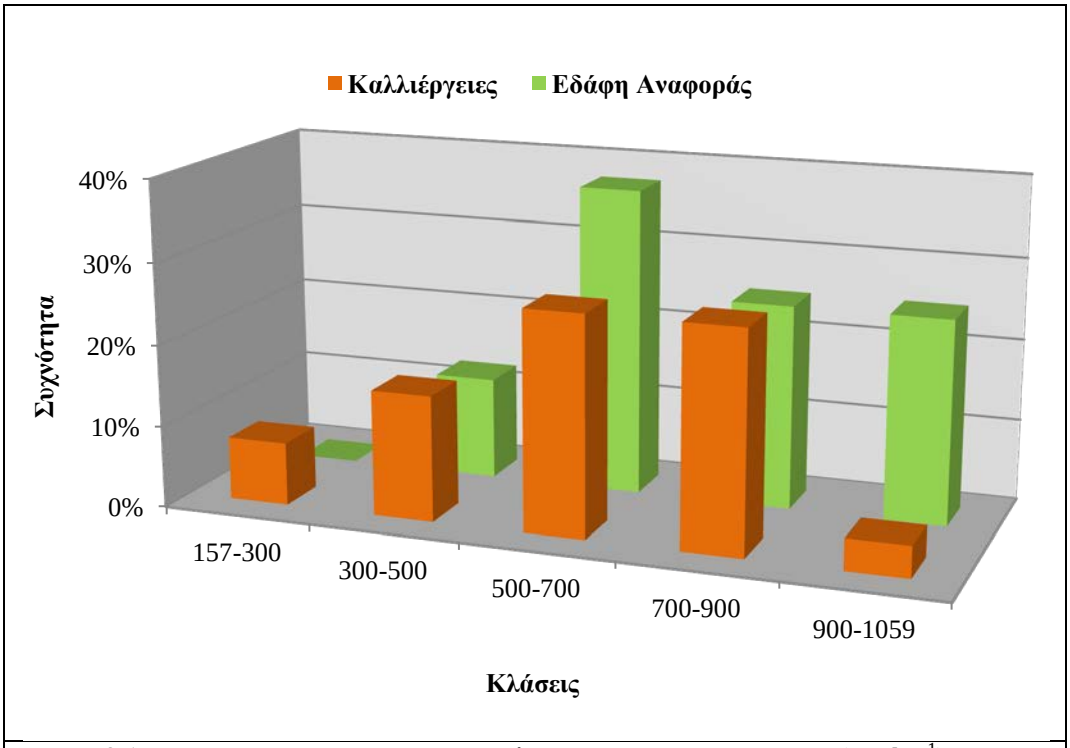
Ολικές συγκεντρώσεις

Οι ολικές συγκεντρώσεις μαγγανίου στην περιοχή έρευνας έχουν υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή 157,9 και 1.058,45 mg kg^{-1} αντίστοιχα, μέση τιμή 655,91 mg kg^{-1}. Η τυπική απόκλιση είναι 212,39 mg kg^{-1}, ενώ η συχνότητα εμφάνισης είναι στην κλάση από 400 έως 800 mg με 74%. Το Mn συνήθως βρίσκεται στα εδάφη με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων στις περισσότερες περιπτώσεις ή ως μεμονωμένα συγκρίματα με ποικίλες διαστάσεις (*McKenzie* 1977). Η σύγκριση των εδαφών (Σχήμα 8.19) εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές στα εδάφη αναφοράς και συνδέεται με τις περιοχές που κυριαρχούν βασικά πετρώματα και σχιστοκερατόλιθοι. Αυτό συμβαίνει γιατί το Mn αφθονεί σε χονδρόκοκκα ιζήματα, όπου σχετίζεται με στρώματα πυριτίου, καθώς τα εδάφη αυτά περιέχουν περισσότερο Mn από ότι εδάφη που έχουν προκύψει από γρανίτες ή ψαμμίτες (*Gilkes and McKenzie* 1988). Οι ολικές συγκεντρώσεις μαγγανίου στην περιοχή έρευνας συγκρινόμενες βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα με την περιοχή της Αυλώνας από 405 έως 1.040 mg, (*Atsarou and Economou-Eliopoulos* 2012) και την Καβάλα με μέση τιμή 524,2 mg (*Παπαστέργιος* 2008). Η χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων μαγγανίου παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές στο κεντρικό βόρειο και νότιο περιθώριο του οροπεδίου (Σχήμα 8.20) περιοχές όπου υπάρχει εμφάνιση μεταλλοφορίας Mn σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη-φύλλο Δομοκός (*Μαρίνος κ.ά*. 1957).

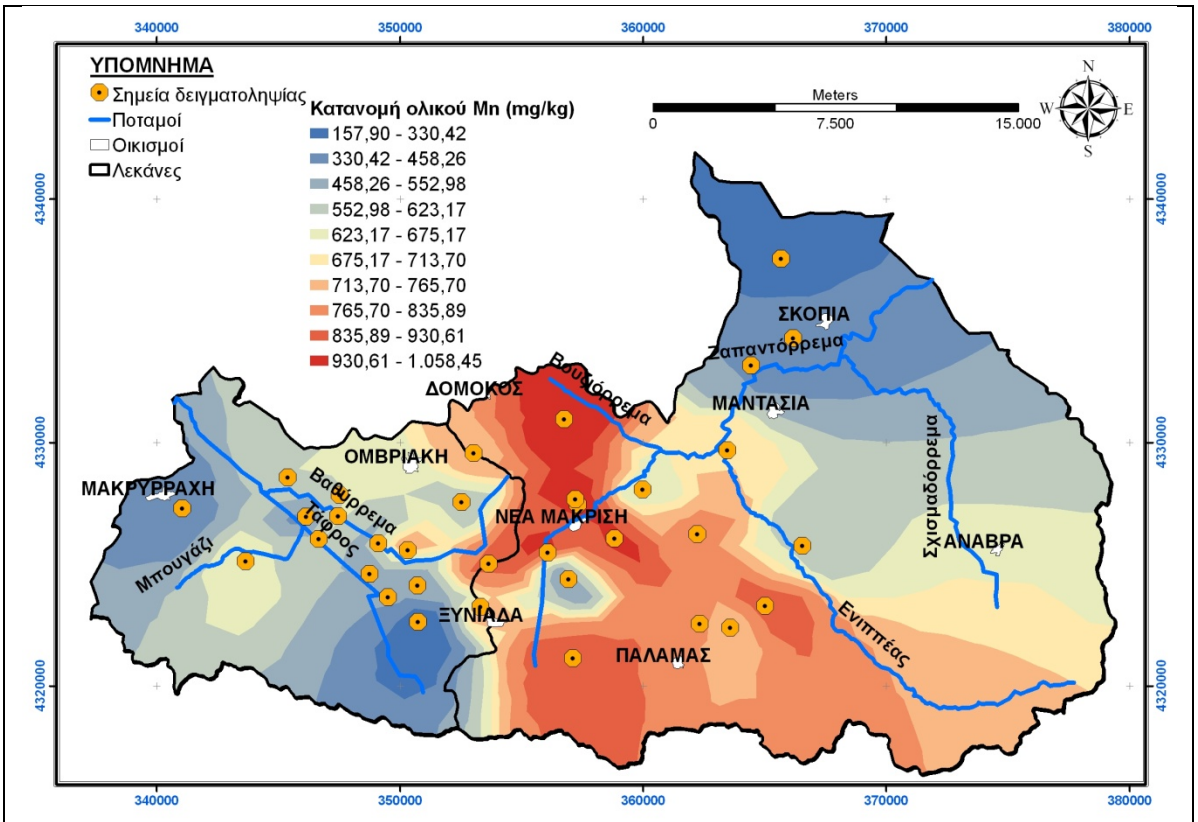
Υδατοδιαλυτές μορφές

Οι υδατοδιαλυτές μορφές του μαγγανίου παρουσιάζουν διακύμανση από 0 έως 0,35 mg $kg^{-}1$, μέση τιμή και τυπική απόκλιση 0,04 και 0,06 mg kg^{-1}, ενώ 85% των εδαφών έχουν τιμές από 0-0,05 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι μόλις 0,01% και

σχετίζεται με τη χαμηλή διαλυτότητα του στοιχείου σε αυξημένο pH (Σχήμα 8.21). Από τη χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών μαγγανίου που παρουσιάζεται στο σχήμα 8.22α διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές στην καλλιεργήσιμη περιοχή νότια του οικισμού της



Σχήμα 8.19. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Mn (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.



Σχήμα 8.20. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Mn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

Ομβριακής και σχετίζεται με την παρουσία του Mn στα βασικά πετρώματα της περιοχής.

Ανταλλάξιμες μορφές

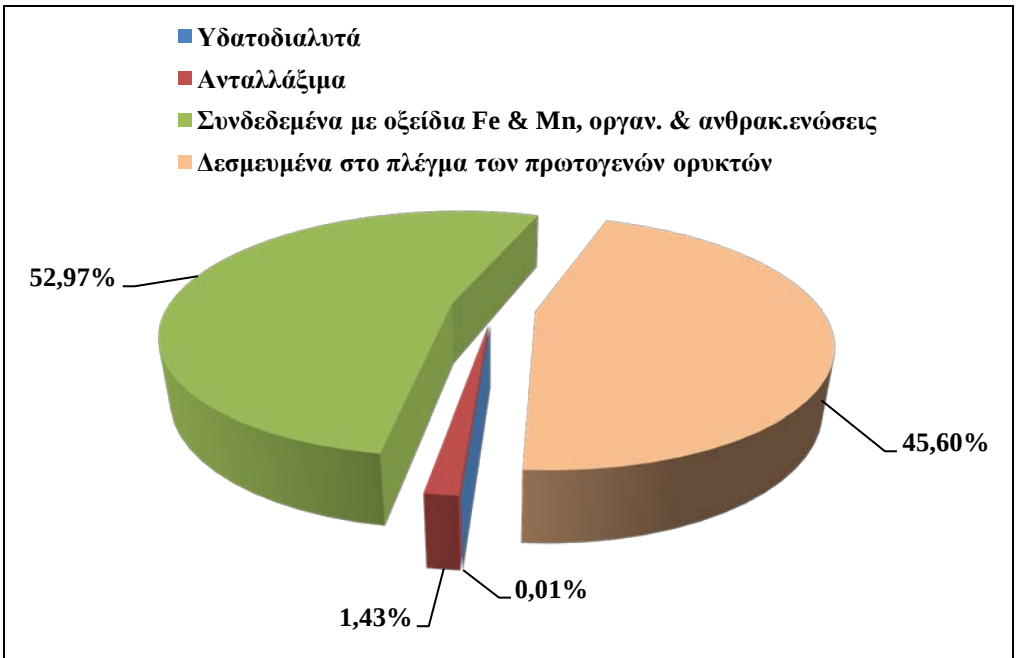
Οι ανταλλάξιμες μορφές μαγγανίου έχουν μέση τιμή 9,34 mg, διακύμανση από 0,16 έως 93,18 mg kg^{-1} και σημαντική τυπική απόκλιση με 21,7. Η πλειοψηφία των τιμών (ποσοστό 59%) παρατηρούνται από 0,16 έως 2,00 mg kg^{-1}, ενώ η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι 1,43% (Σχήμα 8.21). Η χωρική κατανομή υποδεικνύει τις υψηλότερες τιμές προς τα καλλιεργούμενα τμήματα στο κεντρικό και βορειανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας (Σχήμα 8.22β), υποδεικνύοντας τη χρήση λιπασμάτων, καθώς η προσθήκη Mn στο έδαφος βοηθά στην καλύτερη απορρόφηση Zn στις διαφυλλικές λιπάνσεις στον αραβόσιτο.

Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

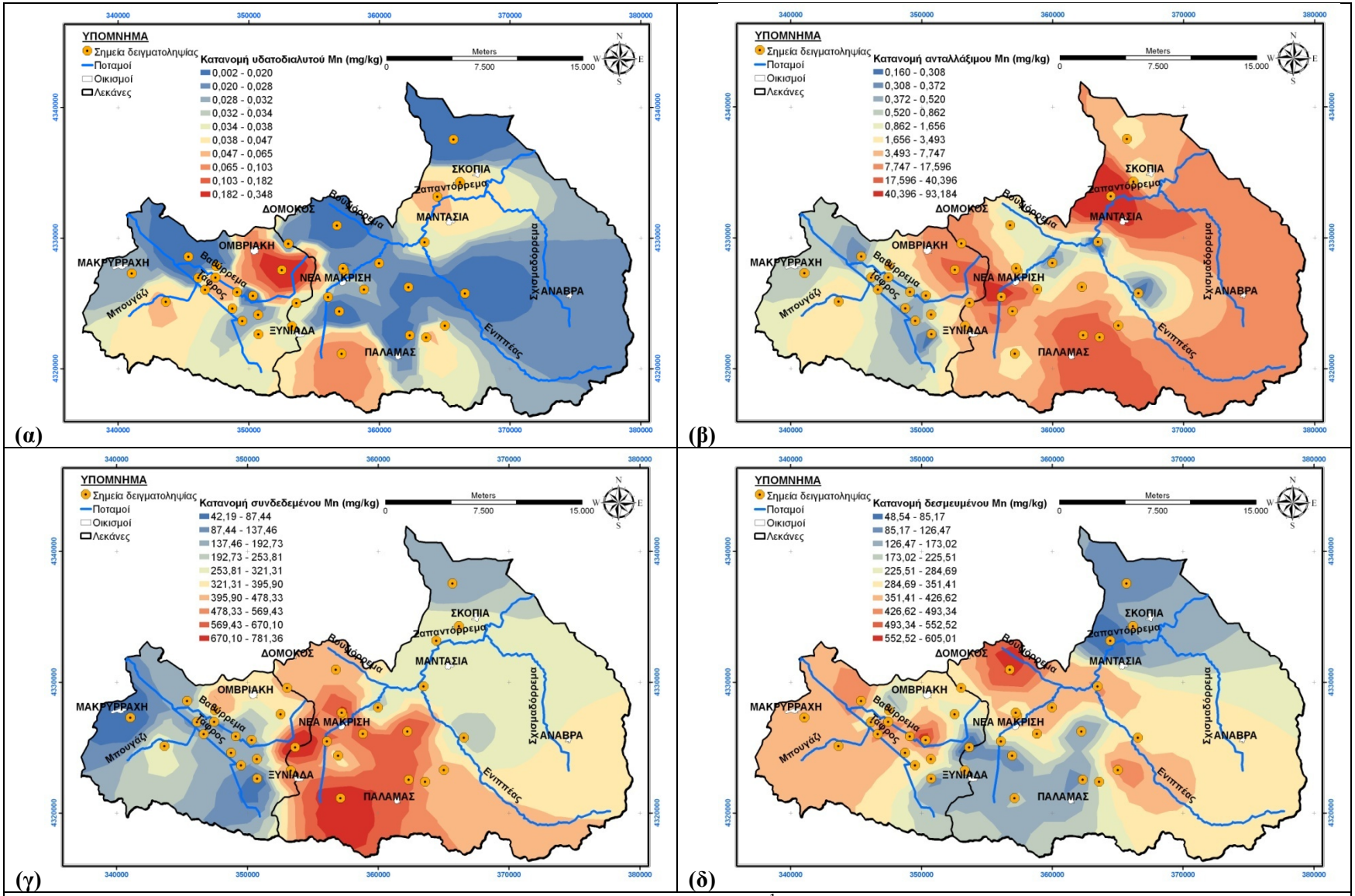
Οι συνδεδεμένες μορφές του μαγγανίου στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις έχουν τη μεγαλύτερη ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών με 52,97% (Σχήμα 8.21). Παρουσιάζουν διακύμανση από 42,19 έως 781,36 mg kg^{-1} και μέση τιμή 347,44 mg. Η πλειοψηφία των εδαφών (ποσοστό 65%) έχουν τιμές 0 έως 400 mg, ενώ οι τιμές παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά έχοντας τυπική απόκλιση 219,83. Η χωρική κατανομή των συνδεδεμένων μορφών μαγγανίου εμφανίζει αυξητική τάση προς τις καλλιεργούμενες περιοχές στο κεντρικό κομμάτι του οροπεδίου (Σχήμα 8.22γ). Σχετίζεται περισσότερο με την ύπαρξη ανθρακικών ενώσεων στις τεταρτογενείς αποθέσεις και λιγότερο με την ύπαρξη οργανικών στις συγκεκριμένες περιοχές.

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις μαγγανίου παρουσιάζουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή 48,55 και 605,01 mg kg^{-1} αντίστοιχα, μέση τιμή 299,09 mg kg^{-1} και τυπική απόκλιση 151,35 mg kg^{-1}. Παρουσιάζουν τη δεύτερη μεγαλύτερη ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών με 45,60% (Σχήμα 8.21), ενώ η συχνότητα εμφάνισης στην κλάση 200-400 mg είναι 44%. Οι μορφές αυτές του μαγγανίου σχετίζονται με την παρουσία του στοιχείου στα βασικά πετρώματα, στους σχιστόλιθους και στα ανθρακικά πετρώματα. Στα τελευταία η οξείδωση του μαγγανίου προς MnO_2 ευνοείται από το υψηλό pH και αυτή είναι η επικρατούσα μορφή του (*Μήτσιος* 2004). Η χωρική κατανομή εμφανίζει τις υψηλές τιμές στις περιοχές που υπάρχουν βασικά και ανθρακικά πετρώματα (Σχήμα 8.22δ).



Σχήμα 8.21. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Mn επί των ολικών.



Σχήμα 8.22(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Mn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

8.6.3 Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός είναι στοιχείο της λιθόσφαιρας που απαντάται συχνά, βρίσκεται στη φύση με τις μορφές Cu^{2+} και $CuOH^{+}$ με επικρατέστερη τη δεύτερη μορφή (*Bodek et al.* 1988), ενώ η δισθενής του μορφή είναι αυτή που είναι αφομοιώσιμη από τα φυτά (*Κεραμίδας* 1997).

Ο χαλκός σχετίζεται στενά με το θείο γεγονός που διαπιστώνεται απ' τα πρωτεύοντα ορυκτά του όπως ο χαλκοπυρίτης $CuFeS_2$, ο βορνίτης Cu_5FeS_4, ο χαλκοσίτης Cu_2S κι ο κοβελίτης CuS. Επίσης αρκετά συχνά συνδέεται με το σφαλερίτη ZnS, τον σιδηροπυρίτη FeS και το γαληνίτη PbS (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Η ολική περιεκτικότητα του Cu στα εδάφη κυμαίνεται από 2-250 mg kg^{-1} (*Adriano* 1986) και η συγκέντρωσή του στο εδαφικό διάλυμα από 3-135 μg L^{-1} (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Το κύριο χαρακτηριστικό της κατανομής του χαλκού είναι η συσσώρευσή του στα ανώτερα εδαφικά στρώματα, ενώ η συγκέντρωση του μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από την πηγή που προκαλεί τη ρύπανση. Ο Cu σχηματίζει σταθερά σύμπλοκα με την οργανική ουσία, ενώ επιπλέον δεσμεύεται από τις ανθρακικές ενώσεις, τα αργιλικά ορυκτά καθώς και τα υδροξείδια του Fe και Mn. Αυτή η συμπεριφορά του το καθιστούν ένα από τα λιγότερο ευκίνητα στοιχεία στο έδαφος (*Adriano* 1986), με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητάς του για τα φυτά (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Ο χαλκός είναι ένα από τα πλέον δυσκίνητα βαρέα μέταλλα. Η κίνηση του στοιχείου στο έδαφος και η πρόσληψή του από τα φυτά είναι μια ενεργή μεταβολική διαδικασία και είναι δυνατό να περιοριστεί από μεταβολικούς αναστολείς. Η πρόσληψη του Cu από τα φυτά περιορίζεται από την παρουσία του ιόντος Zn^{2+}, διότι τα δύο ιόντα (Zn^{2+} και Cu^{2+}) δρουν ανταγωνιστικά, ενώ ανάλογη είναι και η δράση των ιόντων Ca^{2+}, K^{+} και NH_4^{+} (*Μήτσιος* 2004). Επιπλέον η συμπεριφορά, η κινητικότητα, η διαλυτότητα και η διαθεσιμότητα του Cu επηρεάζονται κυρίως από το pH του εδάφους, με τη διαθεσιμότητα του στοιχείου να μειώνεται αρκετά σημαντικά σε pH >7. Μεταξύ του εδαφικού pH και του διαθεσίμου Cu ή της πρόσληψής του από τα φυτά υπάρχει αρνητική σχέση (*Adriano* 1986).

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες που μπορεί να απελευθερώσουν Cu στο περιβάλλον είναι η υπερβολική χρήση μυκητοκτόνων, αγροτικά και αστικά απόβλητα. Ως σημειακές πηγές ρύπανσης μπορεί να θεωρηθούν η διάβρωση (οξείδωση) υλικών όπως σύρματα, σωλήνες κλπ (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Η χρήση μυκητοκτόνων συμβάλει σημαντικά στη ρύπανση του εδάφους από Cu καθώς υπολογίζεται ότι περίπου 7 x 10^7 kg Cu προστίθενται κάθε χρόνο στο έδαφος με τη μορφή μίγματος Bordeaux, το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στη γεωργία. Αντίθετα, τα χημικά λιπάσματα σπάνια έχουν περιεκτικότητα Cu μεγαλύτερη από 100 mg/kg λιπάσματος και για αυτό η συνεισφορά τους στη ρύπανση του εδάφους από χαλκό θεωρείται σχετικά μικρή (*Μήτσιος* 2004).

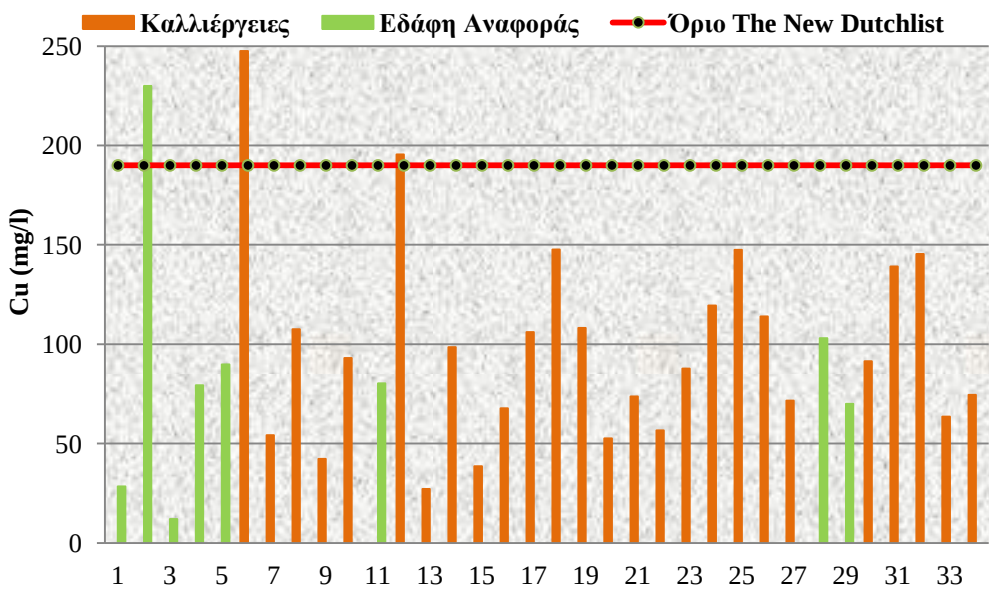
Η παραμετρική τιμή συγκέντρωσής του χαλκού στα εδάφη όπως ορίζεται από την «The New Dutchlist» είναι τα 190 mg kg^{-1} ξηρού βάρους.

Ολικές συγκεντρώσεις

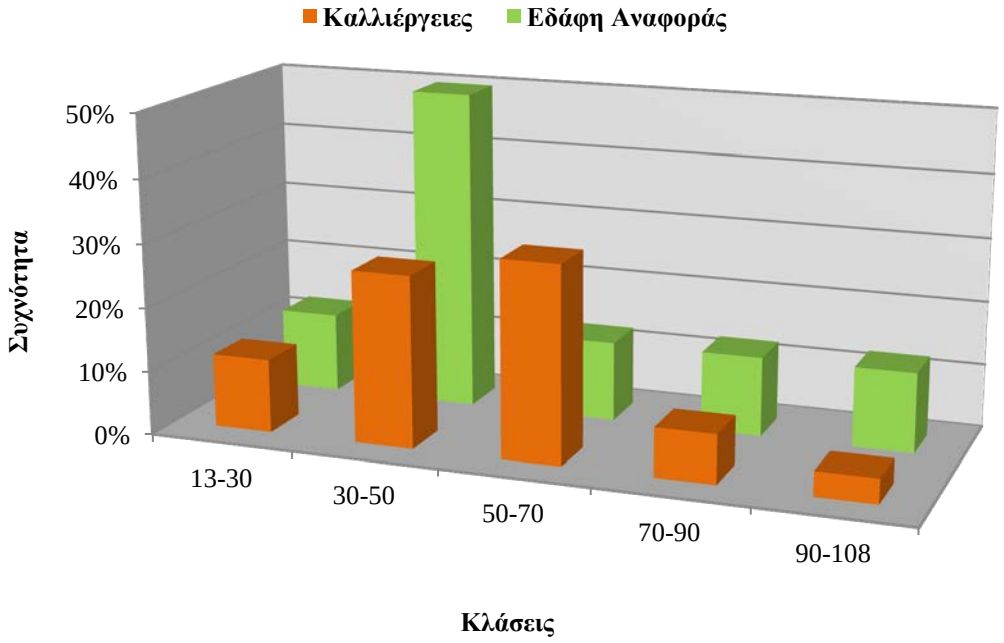
Στην περιοχή έρευνας οι ολικές συγκεντρώσεις χαλκού κινούνται από 13,2 έως 107,2 mg kg^{-1} με μέση τιμή και τυπική απόκλιση 51,09 και 22,38 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Ποσοστό 9% των εδαφών παρουσιάζει τιμές πάνω από την μέγιστη αποδεκτή τιμή των 190 mg kg^{-1} Cu της «The New Dutchlist» (Σχήμα 8.23). Η επικρατέστερη συχνότητα εμφάνισης είναι στην κλάση 40 έως 80 mg με 47%. Η σύγκριση των εδαφών εμφανίζει υψηλότερες τιμές ολικού χαλκού στα εδάφη αναφοράς λόγω της έντονης παρουσίας του στοιχείου στα βασικά πετρώματα της περιοχής έρευνας (Σχήμα 8.24).

Οι ολικές συγκεντρώσεις χαλκού της περιοχής έρευνας συγκρινόμενες κινούνται σε παρόμοια επίπεδα με την Καβάλα (3,25-184,3 mg kg^{-1}) (*Παπαστέργιος* 2008) και είναι υψηλότερες από τη Θεσσαλία (5-61 μg/kg) (*Mitsios et al.* 2005) και την Κοζάνη (2,9 mg) (*Stalikas et al.*1997).

Η χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων χαλκού εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές στο κεντρικό βόρειο και νότιο περιθώριο του οροπεδίου (Σχήμα 8.25).



Σχήμα 8.23. Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Cu (mg kg^{-1}) της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (190 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist».

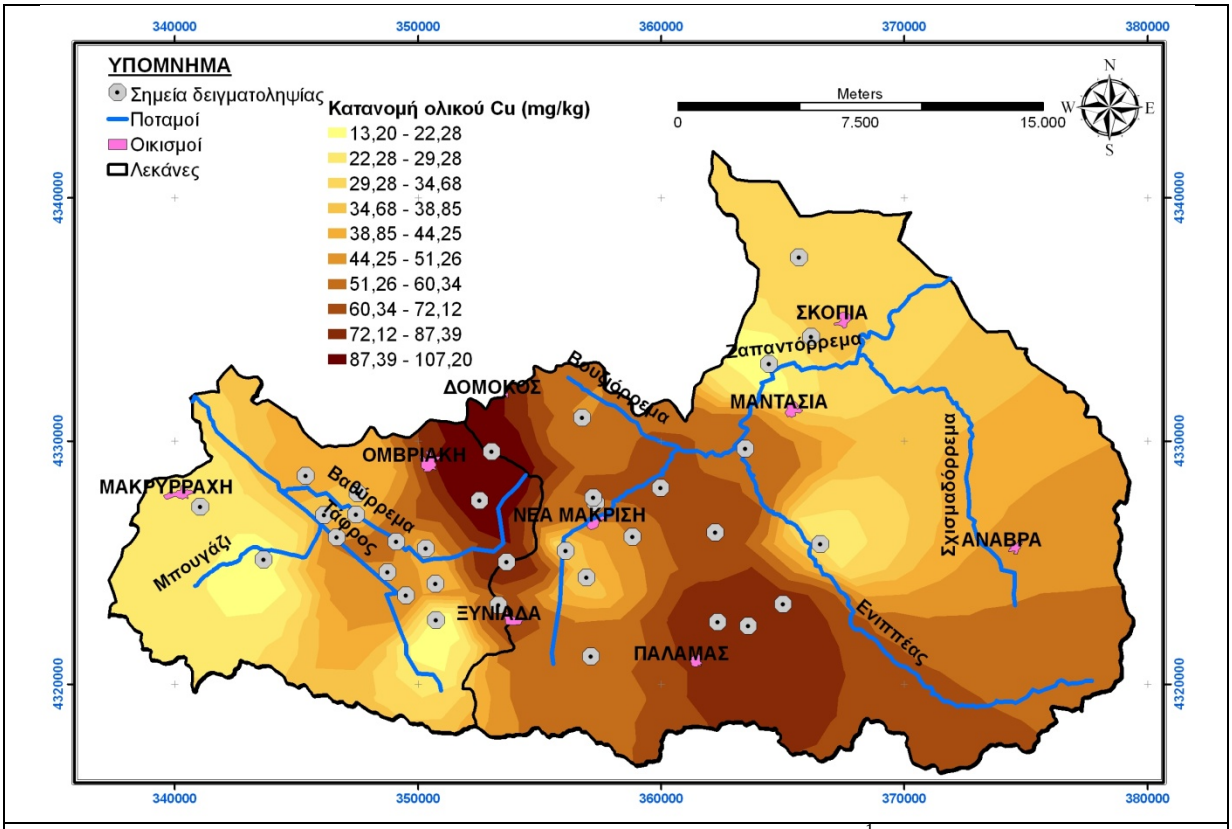


Σχήμα 8.24. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Cu (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

Υδατοδιαλυτές μορφές

Οι υδατοδιαλυτές μορφές του χαλκού παρουσιάζουν διακύμανση 0 έως 0,1 mg kg^{-1} και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση είναι 0,02 mg, ενώ 44% των εδαφών είχαν τιμές από 0-0,01 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι πολύ μικρή 0,04% (Σχήμα 8.26), επιβεβαιώνοντας την άποψη ότι το στοιχείο αποτελεί ένα από τα πιο δυσκίνητα βαρέα μέταλλα. Επιπλέον η διαλυτότητα τόσο των ανιονικών όσο και των κατιονικών μορφών του στοιχείου ελαττώνεται σε pH 7-8, όπως αυτό της περιοχή έρευνας, ενώ το στοιχείο έχει την τάση να προσροφάται από τα οργανικά και ανόργανα κολλοειδή. Το αποτέλεσμα είναι η

διαθεσιμότητα του στοιχείου να μειώνεται σημαντικά σε pH>7 (*Μήτσιος* 2004). Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών χαλκού (Σχήμα 8.27α) εμφανίζει τις υψηλές τιμές στις περιοχές με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Σχήμα 8.12). Το φαινόμενο ενισχύει την άποψη ότι η διαλυτότητα του στοιχείου καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από την περιεκτικότητα του σε οργανική ουσία (*Randle and Harymann* 1995).



Σχήμα 8.25. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Cu (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

Ανταλλάξιμες μορφές

Οι ανταλλάξιμες μορφές χαλκού παρουσιάζουν μέση τιμή 0,05 mg, διακύμανση από 0,01 έως 0,14 mg kg^{-1} και τυπική απόκλιση 0,03 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι 0,10% (Σχήμα 8.26), ενώ η πλειοψηφία των τιμών (ποσοστό 41%) παρατηρείται από 0,2 έως 0,4 mg. Οι τιμές των ανταλλάξιμων μορφών χαλκού σχετίζονται με τις τιμές του pH, καθώς αυτό ελέγχει το ηλεκτρικό φορτίο στις επιφάνειες των εδαφών (*Papadopoulos and Rowell* 1988). Από τη χωρική κατανομή (Σχήμα 8.27β) διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές στο κέντρο της περιοχής έρευνας σε καλλιεργούμενες εκτάσεις και των δύο λεκανών, υποδηλώνοντας τη χρήση αγροχημικών. Η προσθήκη χαλκού άλλωστε στο έδαφος μέσω αγροχημικών διατηρείται σε αυτό για χρονικό διάστημα έως 10 έτη (*Minnich et al.* 1987 από *Μήτσιο* 2004).

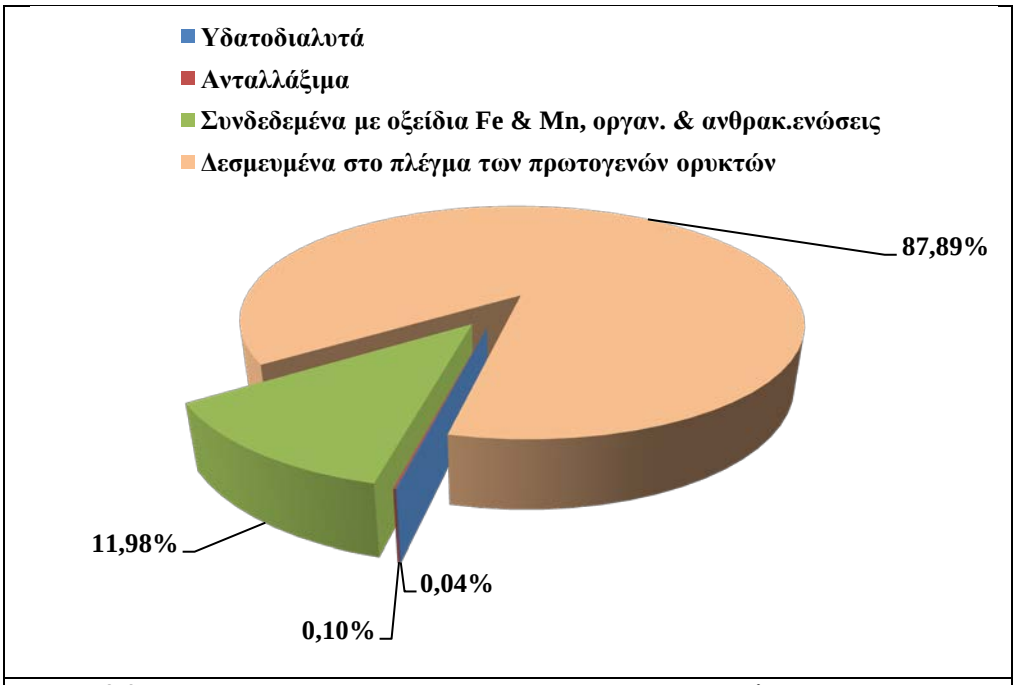
Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

Οι συνδεδεμένες μορφές χαλκού στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις έχουν διακύμανση από 0,16 έως 15,92 mg kg^{-1} και μέση τιμή 6,12 mg. Η τυπική απόκλιση είναι 3,84, η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι 11,98% (Σχήμα 8.26) και το 47% των εδαφών έχουν τιμές 2 έως 6 mg. Οι τιμές αυτές σχετίζονται με την τάση του στοιχείου να δημιουργεί σύμπλοκα με την οργανική ουσία, καθώς ο Cu προσροφάται κατά προτίμηση στην οργανική ύλη σε ποσοστό 53%, το υψηλότερο από άλλα βαρέα μέταλλα (*Rashid and Leonard* 1973). Επιπλέον, έρευνες έχουν δείξει ότι η μορφή χαλκού που

επικρατεί στο έδαφος ποσοτικά, είναι αυτή που είναι δεσμευμένη με την οργανική ουσία και ακολουθούν η δεσμευμένη μορφή του στοιχείου στα οξείδια Fe και Mn (*Μήτσιος* 2004). Η χωρική κατανομή παρουσιάζει τις αυξητικές τάσεις στην έκταση που βρισκόταν η πρώην λίμνη, περιοχή με περίσσεια οργανικών (Σχήμα 8.27γ).

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις χαλκού έχουν ελάχιστη τιμή 6,48 και μέγιστη 100,42 mg kg^{-1} με μέση τιμή 44,91 και τυπική απόκλιση 21,66 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι η μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες μορφές του στοιχείου με 87,89% (Σχήμα 8.26), ενώ η κλάση 20-60 mg είναι η επικρατέστερη με συχνότητα εμφάνισης 71%. Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις χαλκού σχετίζονται με την παρουσία βασικών πετρωμάτων στην περιοχή έρευνας. Η χωρική κατανομή εμφανίζει τις υψηλές τιμές στα βόρεια και νότια τμήματα της περιοχής έρευνας (Σχήμα 8.27δ), παρόμοια με την εμφάνιση μεταλλοφορίας Cu και στο γεωλογικό χάρτη-φύλλο Δομοκός (*Μαρίνος κ.ά.* 1957).



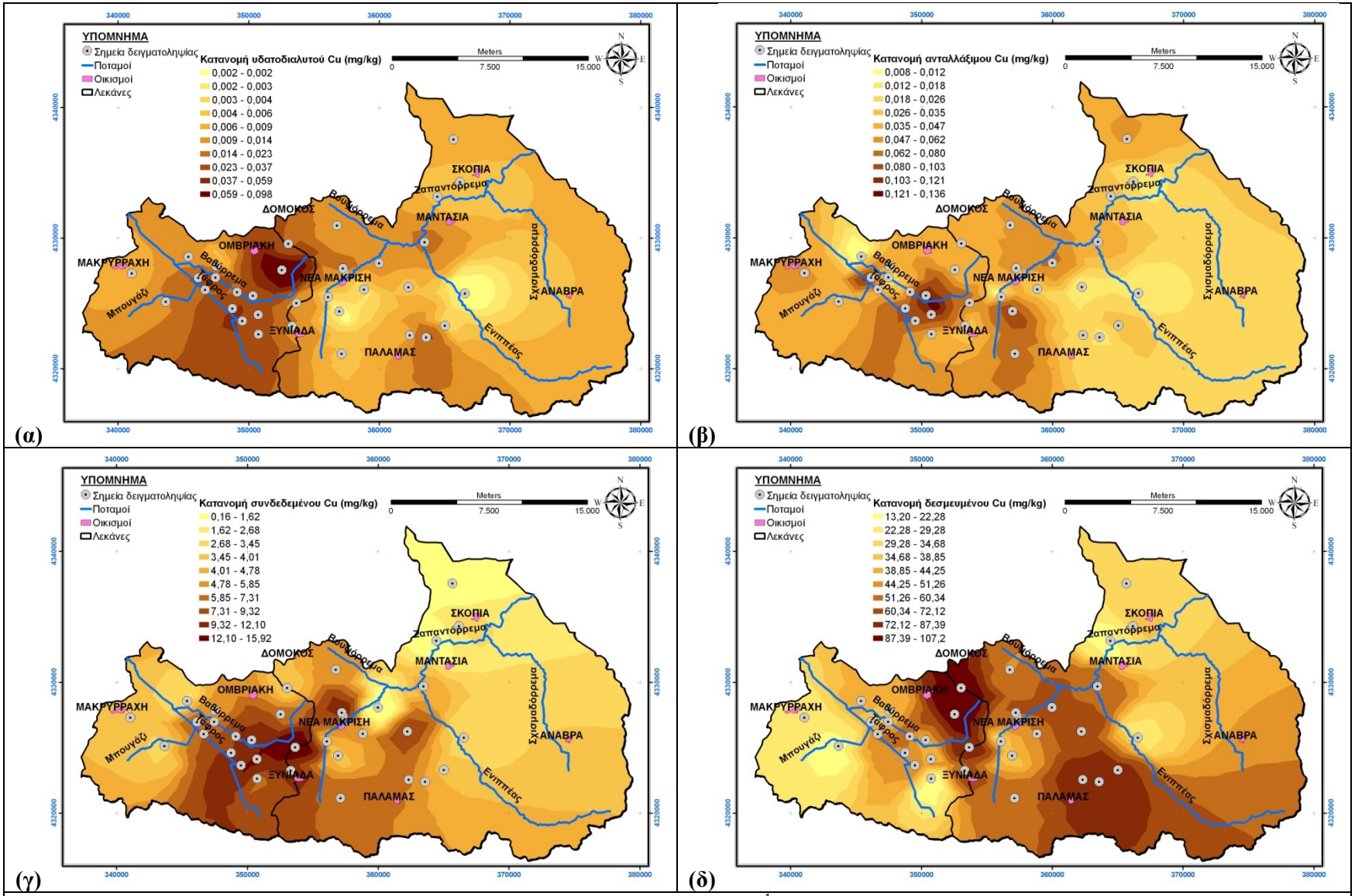
Σχήμα 8.26. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Cu επί των ολικών.

8.6.4 Ψευδάργυρος (Zn)

Ο Zn βρίσκεται στη φύση με τη δισθενή του μορφή Zn^{2+}, ενώ στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται και με τη μορφή συμπλόκων ιόντων: $Zn(OH)^{+}$, $Zn(OH)_3^{-}$, $Zn(OH)_2^{0}$ (*Κεραμίδας* 1997).

Η μέση συγκέντρωση Zn κυμαίνεται από 40 mg kg^{-1} σε όξινα πετρώματα (γρανίτες) και στα 100 mg kg^{-1} σε βασαλτικά πετρώματα (*Lindsay* 1979). Σε ιζηματογενή πετρώματα, περιέχεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, σε σχιστόλιθους και αργιλώδη ιζήματα (80-120 mg kg^{-1}). Οι ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες έχουν γενικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις, που κυμαίνονται από 10 έως 30 mg kg^{-1} (*Kabata Pendias and Pendias* 1992). Ο ψευδάργυρος του εδάφους προέρχεται από την αποσάθρωση του σφαλερίτη (ZnS) καθώς και διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών (αυγίτης, κεροστίλβης, βιοτίτης κλπ) (*Μήτσιος* 2004).

Οι βιοδιαθέσιμες μορφές του Zn για τα φυτά είναι η υδατοδιαλυτή και η ανταλλάξιμη, ενώ οι άλλες μορφές του δεν είναι ή είναι ελάχιστα διαθέσιμες για τα φυτά. Η διαθεσιμότητα του Zn είναι πολύ χαμηλή σε pH >7, ενώ σε όξινες τιμές είναι αυξημένη,



Σχήμα 8.27(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Cu (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

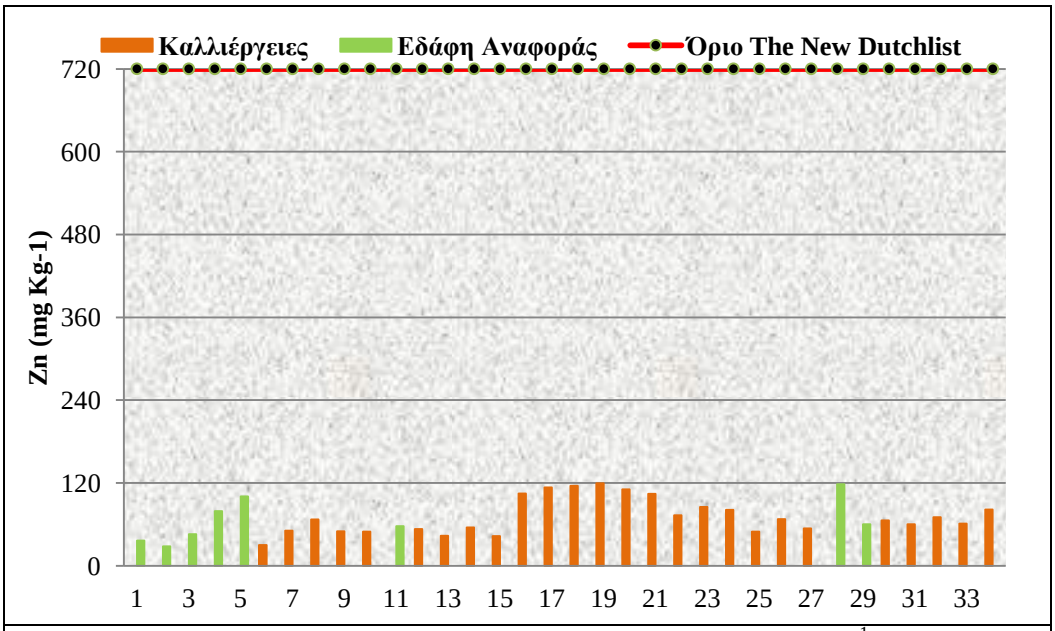
καθιστώντας το pH τον κύριο παράγοντα που επηρεάζει τη διαλυτότητα και διαθεσιμότητα του στοιχείου στα εδάφη (*Adriano* 1986).

Οι κυριότερες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης από Zn είναι η καύση του κάρβουνου και των υπόλοιπων ορυκτών καυσίμων, η επιμετάλλωση καθώς και οι εκπομπές των αερίων από τα ηφαίστεια (*Μήτσιος* 2004). Στα καλλιεργούμενα εδάφη η χρησιμοποίηση λυματολάσπης ως εδαφοβελτιωτικό περιέχει Zn σε τιμές υψηλότερες από αυτές που υπάρχουν στο έδαφος (*Webber et al.* 1984), ενώ η χρήση αγροχημικών αυξάνει τις συγκεντρώσεις Zn. Έτσι, στα φωσφορικά λιπάσματα περιέχεται Zn που κυμαίνεται από 50 μέχρι 1.450 mg kg^{-1} λιπάσματος, στους ασβεστόλιθους από 10-450 mg kg^{-1}, ενώ στην κοπριά των ζώων από 15 μέχρι 250 mg kg^{-1} κοπριάς. Επιπλέον σε παρασιτοκτόνα περιέχεται Zn μέχρι και 25% της μάζας τους και για το λόγο αυτό θεωρείται ότι συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της ρύπανσης των καλλιεργούμενων εδαφών (*Adriano* 1986, *Kabata Pendias and Pendias* 1992, *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Η ανώτερη αποδεκτή τιμή Zn, όπως δίνεται από την «The New Dutchlist», για εδάφη μη επιβαρυμένα είναι 720 mg Zn kg^{-1} ξηρού βάρους.

Ολικές συγκεντρώσεις

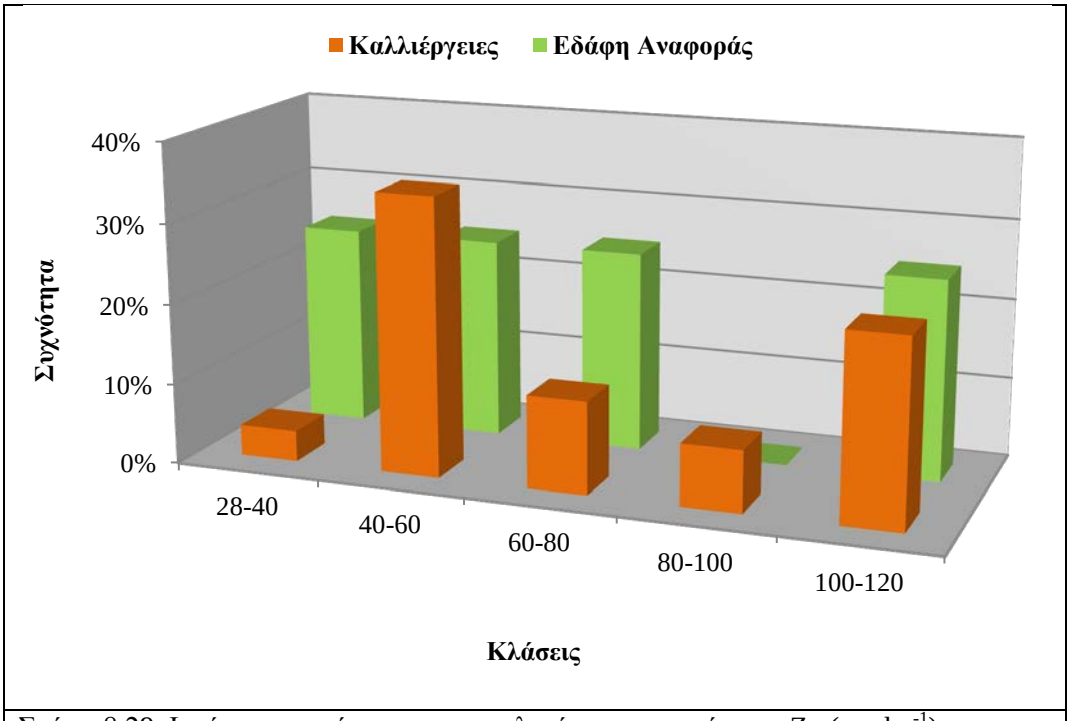
Οι ολικές συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου παρουσιάζουν διακύμανση από 28,15 έως 119,65 mg kg^{-1}, μέση τιμή και τυπική απόκλιση 70,22 και 26,76 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Τα εδάφη θεωρούνται μη επιβαρυμένα σε Zn, καθώς οι τιμές ολικού ψευδαργύρου είναι αρκετά κάτω από το όριο της «The New Dutchlist» (Σχήμα 8.28). Η πλειοψηφία των τιμών (ποσοστό 59%) εμφανίζεται μεταξύ 40 έως 80 mg kg^{-1}. Επιπλέον, τα εδάφη αναφοράς, εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές Zn λόγω των υψηλότερων ποσοστών άμμου που περιέχουν, καθώς τα αμμώδη εδάφη θεωρούνται φτωχότερα σε διαθέσιμο Zn απ' ότι τα λεπτότερης υφής εδάφη (*Καλλιάνου* 2007) (Σχήμα 8.29).

Οι ολικές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου της περιοχής έρευνας είναι υψηλότερες από την

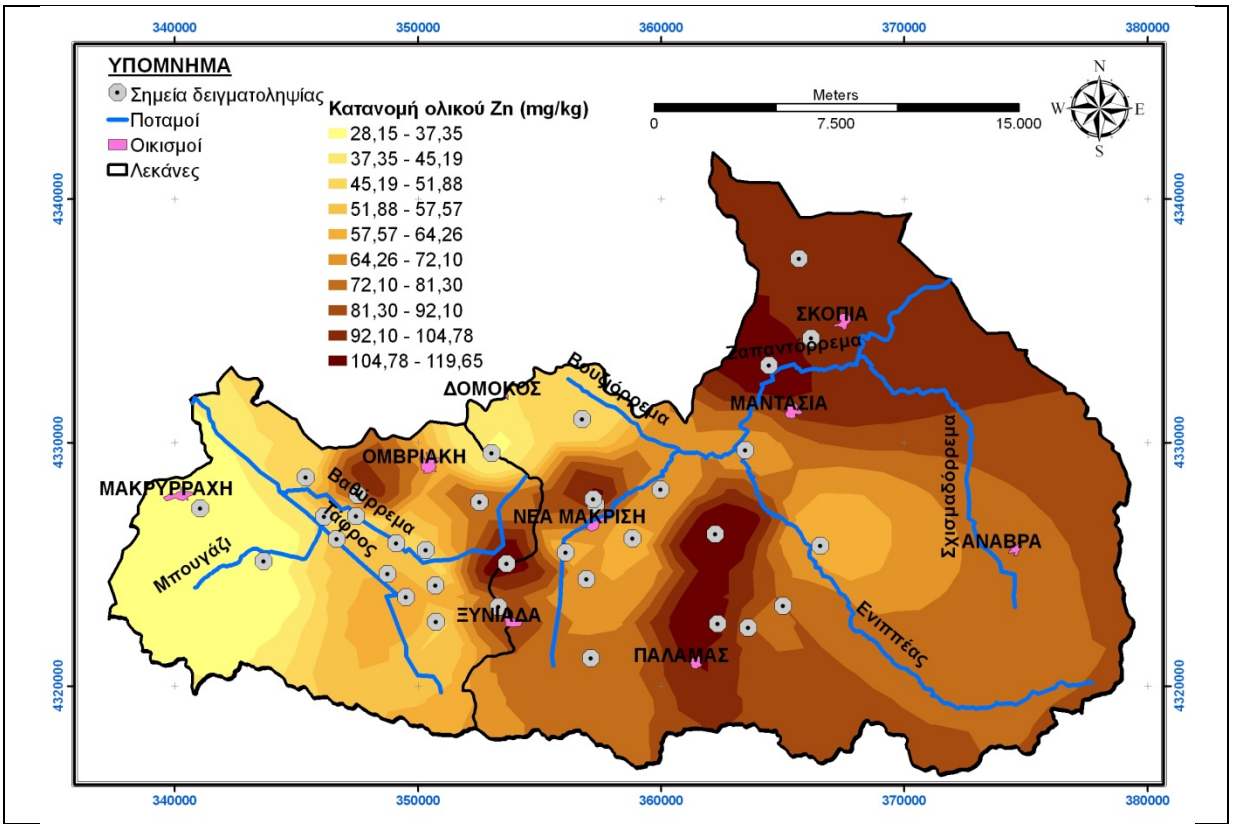


Σχήμα 8.28. Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Zn (mg kg^{-1}) της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (720 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist».

Κοζάνη (6,4 mg) (*Stalikas et al.*1997), κινούνται παρόμοια με τη Φλώρινα (22,8-115,9 mg kg^{-1}) (*Τρύφων* 2007) και χαμηλότερα από την Αυλώνα (55 έως 370 mg kg^{-1}) (*Atsarou and Economou-Eliopoulos*) και την Καβάλα (13,38 έως 5.416,1 mg kg^{-1}) (*Παπαστέργιος* 2008). Από τη χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων ψευδαργύρου διαπιστώνονται οι



Σχήμα 8.29. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Zn (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.



Σχήμα 8.30. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Zn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

υψηλές τιμές στις κεντρικές και βορειοανατολικές καλλιεργούμενες περιοχές της λεκάνης Σκοπιάς (Σχήμα 8.30).

Υδατοδιαλυτές μορφές

Οι υδατοδιαλυτές συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου κυμαίνονται από 0 έως 0,09 mg kg^{-1} με μέση τιμή 0,01 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι μόλις 0,01% (Σχήμα 8.31) και σχετίζεται με τη χαμηλή διαλυτότητα του στοιχείου σε pH >7 (*Adriano* 1986). Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών παρουσιάζεται στο σχήμα 8.32α από όπου διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές στην καλλιεργούμενη περιοχή νότια του οικισμού της Ομβριακής, ενώ σχετικά υψηλές τιμές παρουσιάζονται και σε περιοχές της τέως λίμνης. Αυτό πιθανά συμβαίνει γιατί η οργανική ουσία (φουλβικά οξέα και οργανικά οξέα μικρού μοριακού βάρους) σχηματίζει ευδιάλυτες χηλικές ενώσεις με τον Zn, με αποτέλεσμα την αύξηση της διαλυτότητας και κινητικότητάς του (*Alloway* 1995).

Ανταλλάξιμες μορφές

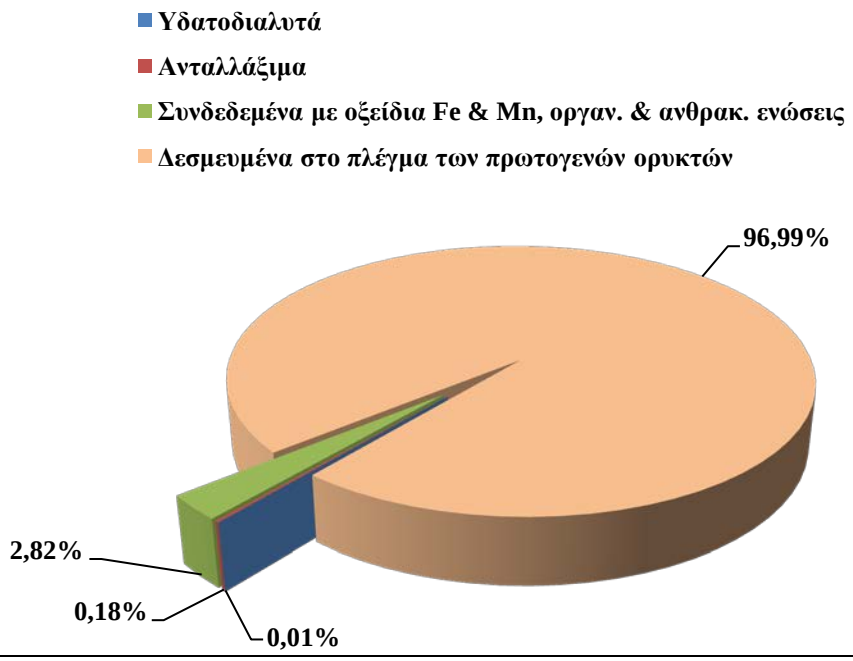
Οι ανταλλάξιμες συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου παρουσιάζουν διακύμανση από 0,02 έως 0,37 mg kg^{-1} και μέση τιμή 0,13 mg kg^{-1}, ενώ η επικρατούσα κλάση με 56% είναι οι τιμές 0,02 έως 0,10 mg. Η συμμετοχή των ανταλλάξιμων μορφών επί των ολικών είναι χαμηλή (0,18%) και συνδέεται με τις τιμές του pH (Σχήμα 8.31). Υψηλό ανταλλάξιμο κλάσμα Zn επιτυγχάνεται συνήθως σε όξινες συνθήκες, ενώ το υψηλό pH (> 6,5) καθιστά το Zn σε μορφές που δεν είναι διαθέσιμες στα φυτά (*Payne et al.* 1988). Από την χωρική κατανομή (Σχήμα 8.32β) διαπιστώνεται αυξητική τάση των τιμών προς την κεντρική καλλιεργούμενη περιοχή του οροπεδίου Δομοκού, που σχετίζεται με τη χρήση λιπασμάτων. Τα αργιλικά ορυκτά όπως ο μοντμοριλλονίτης σε ουδέτερο και αλκαλικό pH παρουσιάζουν την τάση να συγκρατούν μεγάλες ποσότητες ψευδαργύρου (*Bingham et al.* 1979).

Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

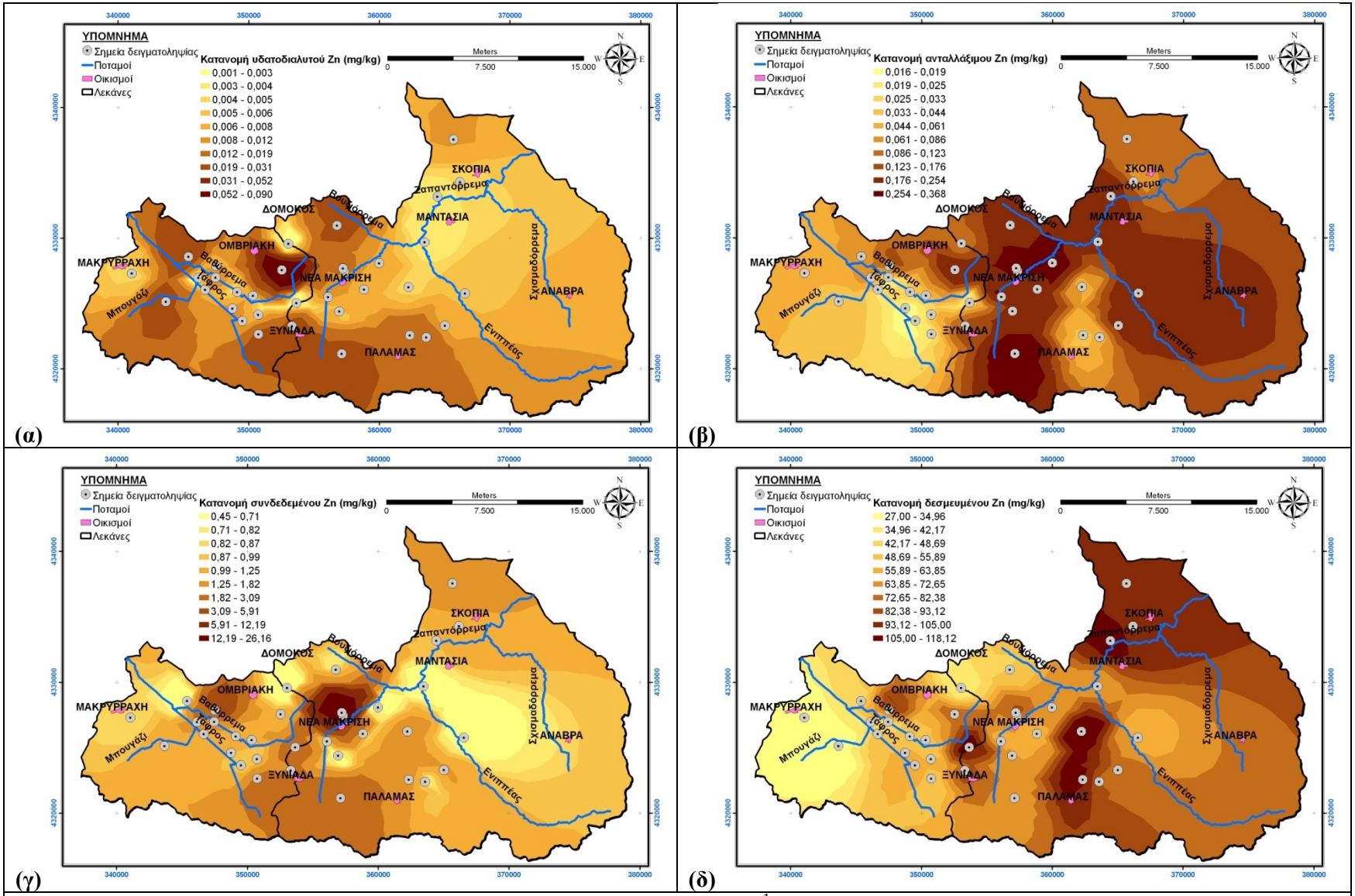
Οι συνδεδεμένες μορφές ψευδαργύρου στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις έχουν διακύμανση από 0,46 έως 26,16 mg kg^{-1}, μέση τιμή 1,98 mg και 2,82%, ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών (Σχήμα 8.31). Η τυπική απόκλιση είναι 4,35 και το σύνολο σχεδόν των τιμών (97%) έχουν τιμές 0,46 έως 4,59 mg. Οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται βόρεια και κεντρικά στην περιοχή έρευνας και σχετίζονται με την αυξημένη παρουσία $CaCO_3$ το οποίο έχει την τάση να δεσμεύει το Zn (Σχήμα 8.32γ).

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις ψευδαργύρου παρουσιάζουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή 27,01 και 118,13 mg kg^{-1} αντίστοιχα με μέση τιμή



Σχήμα 8.31. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Zn επί των ολικών.



Σχήμα 8.32(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Zn (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

68,11 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι η μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες μορφές του στοιχείου με 96,99% (Σχήμα 8.31) και η επικρατέστερη συχνότητα εμφάνισης είναι στην κλάση 40-60 mg με 41%. Οι δεσμευμένες στο πλέγμα μορφές Zn σχετίζονται με την παρουσία του στοιχείου σε εδάφη προερχόμενα από την αποσάθρωση ασβεστολιθικών πετρωμάτων, σε ιζηματογενή πετρώματα, σε σχιστόλιθους και αργιλώδη ιζήματα (*Kabata Pendias and Pendias* 1992). Από την χωρική κατανομή των δεσμευμένων στο πλέγμα συγκεντρώσεων ψευδαργύρου, οι υψηλές τιμές παρατηρούνται στη λεκάνη Σκοπιάς στις ίδιες με την κατανομή των ολικών περιοχές, εξαιτίας και της μεγάλης ποσοστιαίας συμμετοχή τους επί αυτών (Σχήμα 8.32δ).

8.6.5 Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο απαντάται στη φύση με τη δισθενή του μορφή, Cd^{2+}, η οποία είναι αυτή που προσροφάται από τα φυτά, ενώ στο εδαφικό διάλυμα μπορεί επιπλέον να υπάρχει και με τη μορφή ποικίλων συμπλόκων ιόντων: $CdCl^{+}$, $CdOH^{+}$, $CdHCO_3^{+}$, $CdCl_3^{-}$, $CdCl_4^{-}$, $CdCl_3$, $Cd(OH)_3^{-}$, $Cd(OH)_4^{2-}$ και σε οργανικές χηλικές ενώσεις (*Kabata Pendias and Pendias* 2001).

Οι κύριες πηγές καδμίου στο έδαφος είναι τα ορυκτά ZnS (σφαλερίτης και βουρτσίτης), καθώς και άλλα δευτερεύοντα ορυκτά (*Μήτσιος* 2004), ενώ η μέση περιεκτικότητα σε Cd του φλοιού της γης υπολογίζεται ότι είναι περίπου 0,1 mg Cd kg-^{1} (*Bowen* 1979). Σε εδάφη που έχουν σχηματισθεί σε πυριγενή πετρώματα οι συγκεντρώσεις του Cd κυμαίνονται μεταξύ 0,1-0,3 mg/kg, σε μεταμορφωμένα μεταξύ 0,1-11mg/kg και σε ιζηματογενή μεταξύ 0,3-11 mg/kg (*Page and Bingham* 1973).

Το κάδμιο σχετίζεται στενά με το ψευδάργυρο διότι: α) τα δύο στοιχεία έχουν ανάλογη ιονική δομή, β) έχουν την ίδια τιμή ηλεκτραρνητικότητας και γ) και τα δύο στοιχεία έχουν την τάση να δεσμεύονται από το ανθρακικό ασβέστιο. Το κάδμιο έχει μεγαλύτερη τάση για σύνδεση με το θείο σε σχέση με τον ψευδάργυρο (*Μήτσιος* 2004). Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την κινητικότητα του ιόντος του Cd είναι το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής. Το κάδμιο είναι περισσότερο κινητικό σε όξινα εδάφη και σε εύρος του pH από 4,5 έως 5,5, ενώ σε αλκαλικά εδάφη είναι μάλλον μη κινητικό (*Kabata Pendias and Pendias* 2001). Το Cd συσσωρεύεται στο επιφανειακό στρώμα των εδαφών, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς τους σε οργανική ουσία, όπου και συγκρατείται ισχυρά (*Alloway* 1995).

Οι βασικότερες πηγές ατμοσφαιρικής εκπομπής καδμίου είναι οι βιομηχανίες παραγωγής μη σιδηρούχων μεταλλευμάτων, η καύση ορυκτών καυσίμων και οι εκπομπές από τις βιομηχανίες παραγωγής σιδήρου και σιδηρομεταλλευμάτων (*Tiller* 1989). Τα φωσφορικά λιπάσματα θεωρούνται ότι είναι η μεγαλύτερη πηγή καδμίου στα καλλιεργούμενα εδάφη. Ιδιαίτερα υψηλές είναι οι συγκεντρώσεις του καδμίου που βρίσκονται στους φωσφορίτες (<500 mg/kg), οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη στις βιομηχανίες λιπασμάτων (*Alloway* 1995, *Μήτσιος* 2004). Γενικά τα εδάφη θεωρούνται ως μη επιβαρυμένα, όταν το ολικό Cd στο έδαφος δεν ξεπερνά τα 12 mg kg^{-1} (The New Dutchlist).

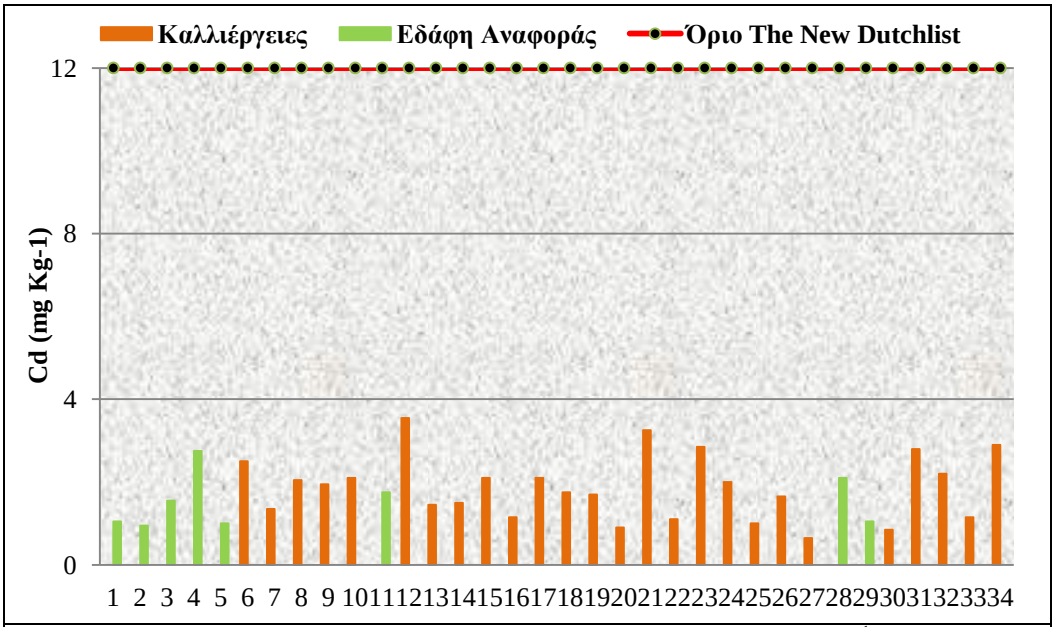
Ολικές συγκεντρώσεις

Οι ολικές συγκεντρώσεις καδμίου κινήθηκαν από 0,65 έως 3,55 mg kg^{-1} με μέση τιμή 1,79 και τυπική απόκλιση 0,75 mg kg^{-1} ενώ, ποσοστό 76% των εδαφών έχουν τιμές από 1 έως 3 mg kg^{-1}. Τα εδάφη δεν είναι επιβαρυμένα σε Cd καθώς καμιά τιμή δεν υπερβαίνει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή για το Cd στα εδάφη (The New Dutchlist) (σχήμα 8.33). Η σύγκριση των εδαφών εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές στα εδάφη που καλλιεργούνται, καθώς τα ιζηματογενή πετρώματα περιέχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καδμίου (*Μήτσιος* 2004) (Σχήμα 8.34).

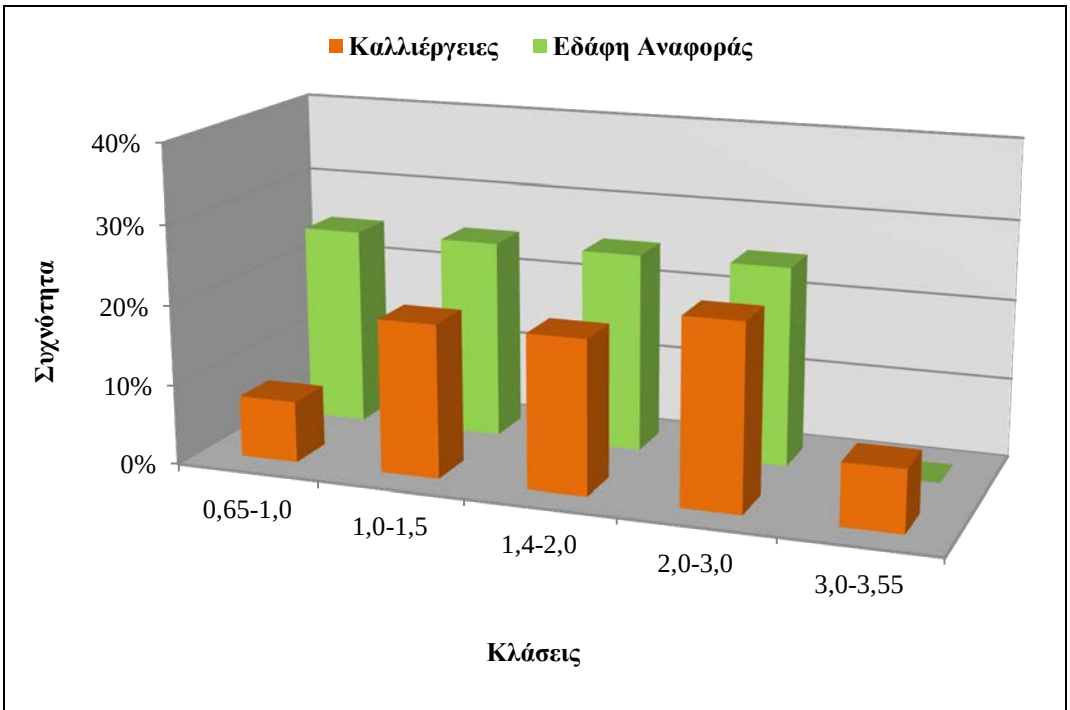
Οι τιμές ολικού Cd που βρέθηκαν σε άλλες περιοχές είναι, στη Καβάλα (μέση τιμή 0,58 mg kg^{-1}) (*Παπαστέργιος* 2008), τη Φλώρινα (μέση τιμή 0,17 mg kg^{-1}) (*Τρύφων* 2007) και στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής (μέση τιμή 1,96 mg kg^{-1}) (*Χαμπίδη* 2012). Η χωρική

κατανομή εμφανίζει τις αυξητικές τιμές σε περιοχές των τεταρτογενών ιζημάτων και στις δύο λεκάνες (Σχήμα 8.35).

Υδατοδιαλυτές μορφές



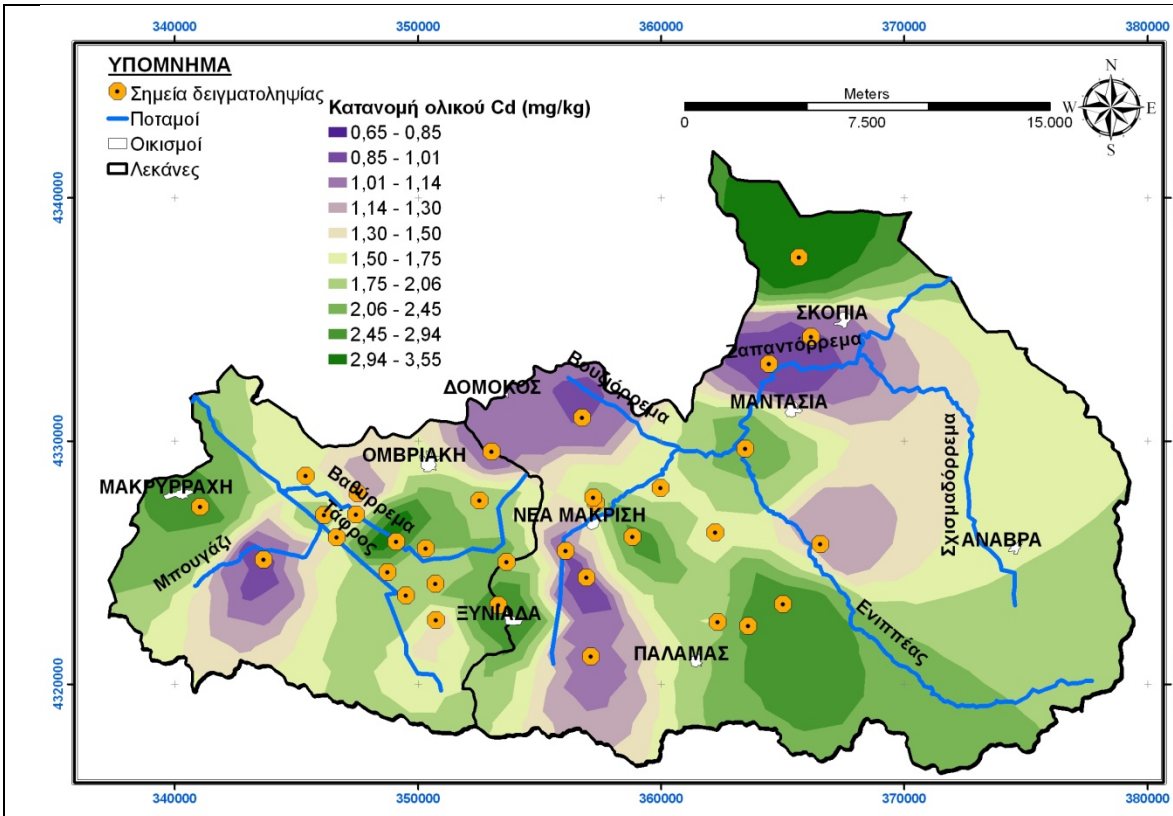
Σχήμα 8.33. Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Cd (mg kg^{-1}) της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (12 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist».



Σχήμα 8.34. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Cd (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

Η διακύμανση των υδατοδιαλυτών μορφών Cd παρουσιάζουν διακύμανση 0 έως 0,07 mg kg^{-1}, μέση τιμή 0,03, ενώ η τυπική απόκλιση είναι 0,02 mg kg^{-1}. Η πλειοψηφία των τιμών (53%) παρουσιάζεται μεταξύ 0,01 και 0,03 mg kg^{-1}. Οι χαμηλές τιμές των υδροδιαλυτών μορφών καδμίου επιβεβαιώνουν τον μη κινητικό χαρακτήρα του στοιχείου σε αλκαλικά

εδάφη (*Kabata Pendias and Pendias* 2001). Αύξηση του pH έχει αποτέλεσμα την αυξημένη προσρόφηση του Cd στο χουμικό υλικό. Η καθίζηση του Cd μπορεί να συμβεί σε Cd^{2+} υπό αλκαλικές συνθήκες (pH> 7,0) (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Η χωρική κατανομή παρουσιάζει τις αυξημένες τιμές σε καλλιέργειες στη λεκάνη Ξυνιάδας, υποδηλώνοντας τη χρήση λιπασμάτων (Σχήμα 8.37α).



Σχήμα 8.35. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Cd (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

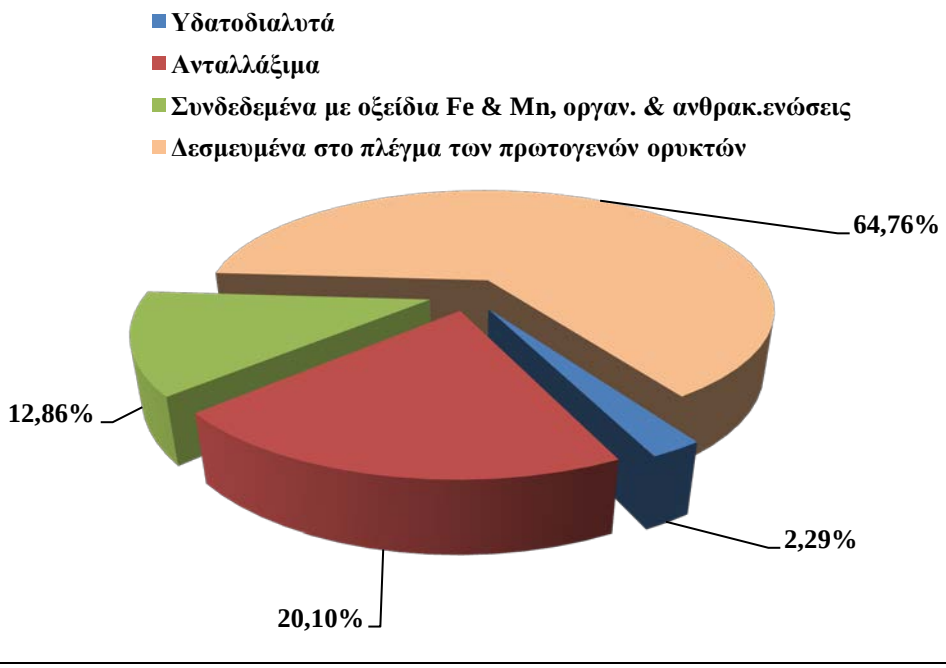
Ανταλλάξιμες μορφές

Οι συγκεντρώσεις των ανταλλάξιμων μορφών καδμίου κινούνται από 0,02 έως 0,58 mg kg^{-1}, με μέση τιμή και τυπική απόκλιση 0,24 και 0,15 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Η επικρατούσα κλάση με 47% είναι μεταξύ 0,1 και 0,3 mg kg^{-1}, ενώ η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι 20,1% (Σχήμα 8.36). Το αυξημένο αυτό ποσοστό επιβεβαιώνει την άποψη ότι πάνω από το 20% των συγκεντρώσεων καδμίου ανήκει στις εύκολα διαλυτές κι ανταλλάξιμες φάσεις (*Kabata-Pendias* 1993). Το κάδμιο γενικότερα έχει την τάση να είναι πιο ευκίνητο στα εδάφη και επομένως πιο διαθέσιμο για τα φυτά σε σχέση με τα άλλα βαρέα μέταλλα (*Alloway* 1995). Οι αυξημένες τιμές των ανταλλάξιμων μορφών καδμίου εμφανίζονται σε καλλιεργούμενες περιοχές στη λεκάνη Ξυνιάδας και σχετίζονται με τη χρήση λιπασμάτων (*Alloway* 1995, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001, *Μήτσιος* 2004) (Σχήμα 8.37β).

Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

Οι συνδεδεμένες μορφές καδμίου στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις, έχουν διακύμανση 0,01 έως 0,80 mg kg^{-1} και μέση τιμή 0,15 mg. Η τυπική απόκλιση είναι 0,18 και η επικρατούσα κλάση με 65% είναι η 0-0,1 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι 12,86% (Σχήμα 8.36). Οι τιμές αυτές σχετίζονται με το pH καθώς είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τη συγκράτηση του Cd στα εδάφη, σε σχέση με την οργανική ουσία και τα υδροξείδια Fe και Mn. Έτσι, η συγκράτηση του Cd

αυξάνεται σε αλκαλικές τιμές pH (*Alloway* 1995, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Η χωρική κατανομή εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα της περιοχής έρευνας (Σχήμα 8.37γ).



Σχήμα 8.36. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Cd επί των ολικών.

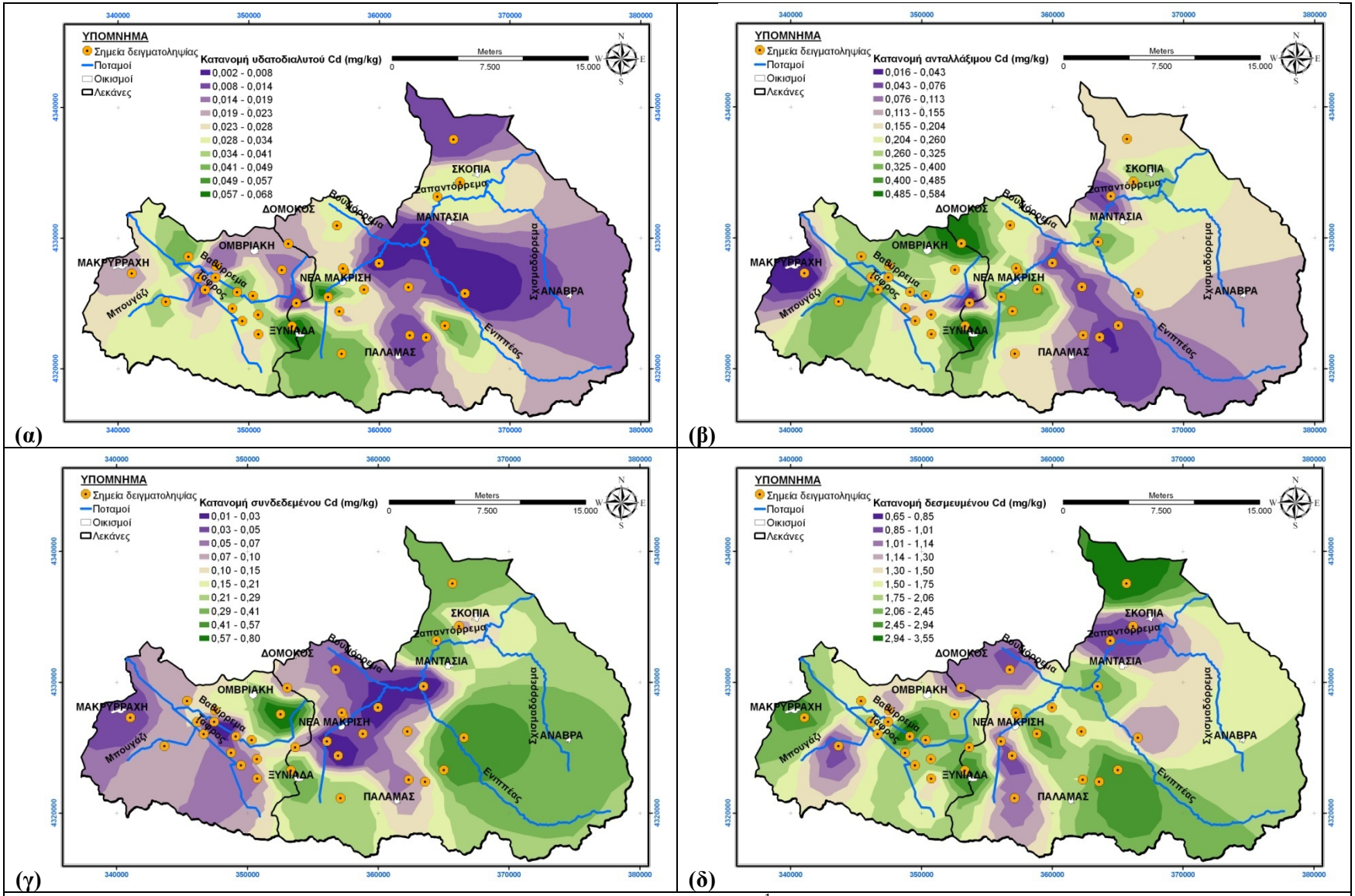
Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις Cd παρουσιάζουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή 0,0 και 3,04 mg kg^{-1} αντίστοιχα, μέση τιμή 0,76 mg και τυπική απόκλιση 0,82 mg. Παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών με 64,76% (Σχήμα 8.36), ενώ η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι στην κλάση 0-0,5 mg με 53%. Οι μορφές αυτές του καδμίου σχετίζονται με την παρουσία του στοιχείου στα πυριγενή πετρώματα της περιοχής έρευνας (*Page and Bingham* 1973). Η χωρική κατανομή εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές σε τμήματα των τεταρτογενών ιζημάτων της περιοχής έρευνας (Σχήμα 8.37δ).

8.6.6 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος απαντά ως Pb^{2+} αλλά έχει επίσης ανευρεθεί και με τη Pb^{4+} μορφή του, ενώ υφίσταται υδρόλυση σε χαμηλές τιμές pH (*Kabata Pendias and Pendias* 2001) και θεωρείται από τα πλέον δυσκίνητα βαρέα μέταλλα. Η συγκέντρωσή του στα εδαφικά διαλύματα είναι πολύ χαμηλή, όπου και βρίσκεται με τη δισθενή του μορφή, η οποία είναι και αυτή που είναι αφομοιώσιμη από τα φυτά (*Alloway* 1995). Σε pH >9 σχηματίζεται $Pb(OH)_2$, ενώ το $PbOH^+$ είναι κυρίαρχο σε pH 6-10 (*Adriano* 1986).

Η μέση τιμή της συγκέντρωσης του Pb στα εδάφη παγκοσμίως έχει υπολογιστεί περίπου σε 15 mg (*Kabata Pendias and Pendias* 2001). Σε μη επιβαρυμένα εδάφη βρίσκεται σε συγκεντρώσεις <20 mg Pb kg^{-1} εδάφους (*Μήτσιος* 2004), ενώ η τιμή φυτοτοξικότητας του σε αγροτικά εδάφη είναι 180 μg/g (*Kabata Pendias and Pendias* 1992). Ο μόλυβδος έχει την τάση να συγκεντρώνεται σε ορυκτά τα οποία περιέχουν πυρίτιο. Σε μεγάλες επίσης συγκεντρώσεις παρουσιάζεται σε ιζηματογενή πετρώματα, με την αφθονία του να είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του αργιλικού κλάσματος. Τα αργιλικά ιζήματα επομένως περιέχουν περισσότερο Pb από τις άμμους, ψαμμίτες και ασβεστόλιθους.



Σχήμα 8.37(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Cd (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

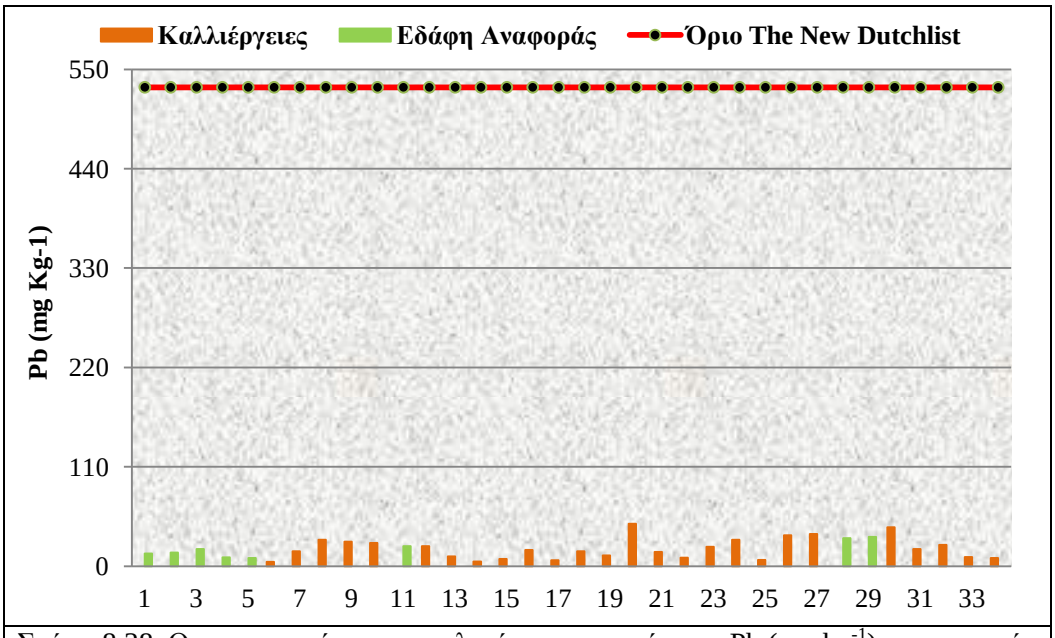
Ο Pb συσσωρεύεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, λόγω της δυσκινητικότητάς του στο εδαφικό διάλυμα και της ισχυρής συγγένειας του με το οργανικό υλικό, η οποία και δεσμεύει το μέταλλο δημιουργώντας σύμπλοκες ενώσεις και ιόντα. Θεωρείται έτσι η οργανική ουσία ως ένας σημαντικός αποδέκτης Pb σε εδάφη με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στο στοιχείο αυτό (*Kabata Pendias and Pendias* 2001). Αντίθετα ο ρόλος των οξειδίων Mn στη συγκράτηση του Pb είναι ασήμαντος αλλά σημαντικότερος από αυτόν των οξειδίων Fe (*Adriano* 1986).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη Pb από τα φυτά είναι η περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο και οργανική ουσία. Όσο μεγαλύτερες είναι τόσο μειώνεται η πρόσληψη Pb από τα φυτά. Επιπλέον, η πρόσληψη του Pb από τα φυτά μειώνεται με την αύξηση του pH (*Adriano* 1986). Τα συμπτώματα τοξικότητας του στοιχείου στα φυτά είναι σκούρα πράσινα φύλλα, μαρασμός των παλαιότερων φύλλων και σχηματισμός μικρών ριζών με καφέ χρώμα (*Μήτσιος* 2004).

Οι σπουδαιότερες πηγές ρύπανσης του μολύβδου είναι οι βιομηχανίες επιμετάλλωσης, ενώ ακόμη το στοιχείο βρισκόταν στις εκπομπές των οχημάτων που αποτελούσαν για δεκαετίες τις σπουδαιότερες πηγές ρύπανσης των εδαφών κοντά σε δρόμους με τροχοφόρα. Αν και οι εκπομπές Pb από καυσαέρια αυτοκινήτων έχουν μειωθεί σημαντικά με την κατάργηση της βενζίνης με αντικροτικά μολύβδου, το στοιχείο έχει ιδιαίτερα μεγάλο χρόνο παραμονής συγκρινόμενο με άλλους ρυπαντές. Έχει εξαιρετικά μεγάλη τάση συσσώρευσης στο έδαφος, επειδή έχει χαμηλή διαλυτότητα και δεν αποικοδομείται με μικροβιακή δραστηριότητα (*Mielke* 1999, *Μήτσιος* 2004). Εδάφη επιβαρυμένα σε Pb είναι αυτά που έχουν συγκεντρώσεις ολικού μολύβδου πάνω από 530 mg kg^{-1} (The New Dutchlist).

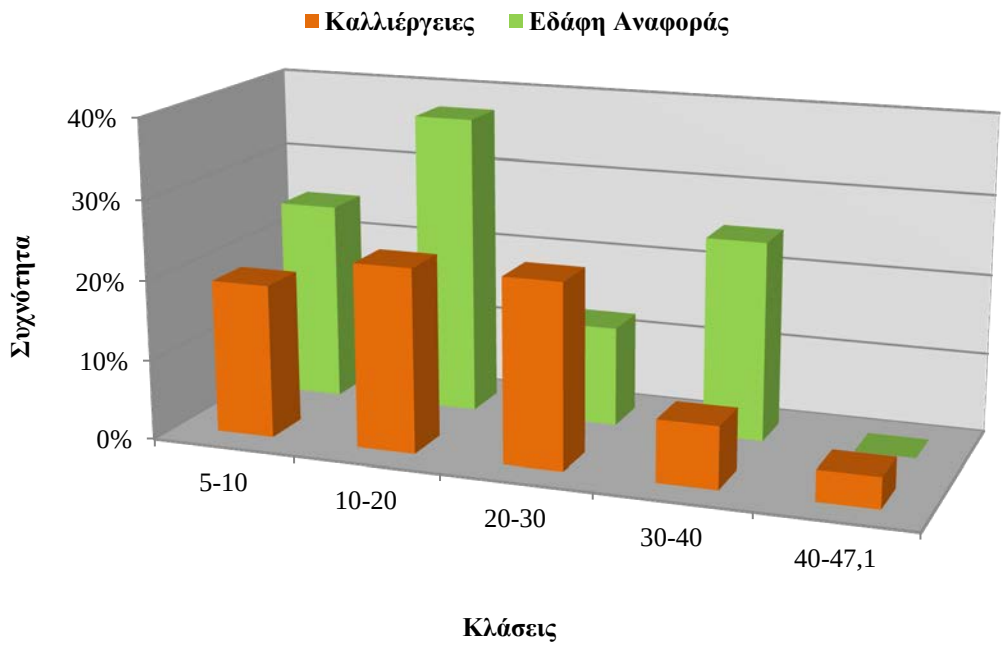
Ολικές συγκεντρώσεις

Οι ολικές συγκεντρώσεις του μολύβδου κυμαίνονται από 5 έως 47,10 mg kg^{-1}, με μέση τιμή 19,48 mg και τυπική απόκλιση 11,02. Τα εδάφη δεν είναι επιβαρυμένα καθώς οι τιμές αυτές είναι αρκετά κάτω από το όριο της «The New Dutchlist» (Σχήμα 8.38). Από το σχήμα 8.39 διαπιστώνεται ότι η επικρατούσα κλάση είναι η 10-20 mg και για τις δύο ομάδες εδαφών και σχετίζεται με την περιεκτικότητα τους σε πυρίτιο.

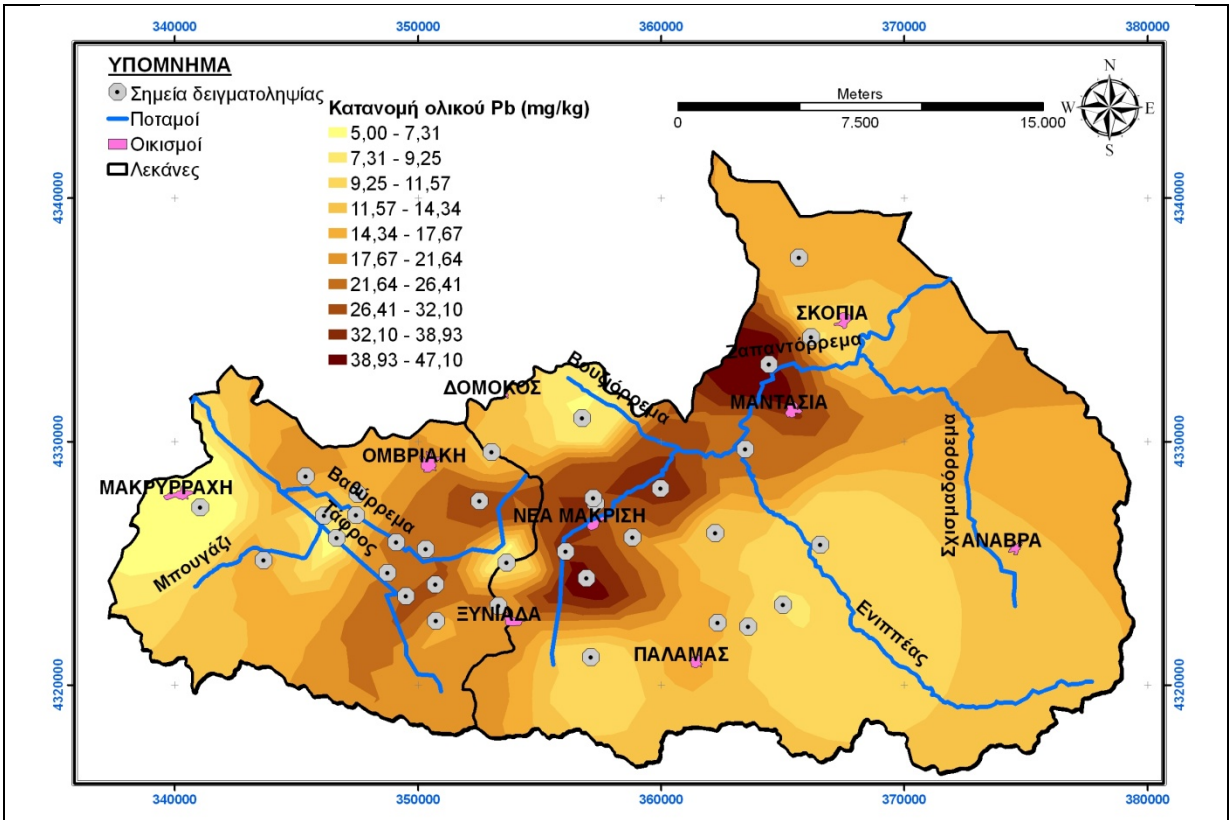


Σχήμα 8.38. Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Pb (mg kg^{-1}) της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (530 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist».

Οι ολικές τιμές μολύβδου συγκρινόμενες βρίσκονται στα ίδια επίπεδα με τη Θεσσαλία (3-46,3 mg kg^{-1}) (*Mitsios et al.* 2005) και τη Φλώρινα (6,8-27,1 mg kg^{-1}) (*Τρύφων* 2007) και



Σχήμα 8.39. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Pb (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.



Σχήμα 8.40. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Pb (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

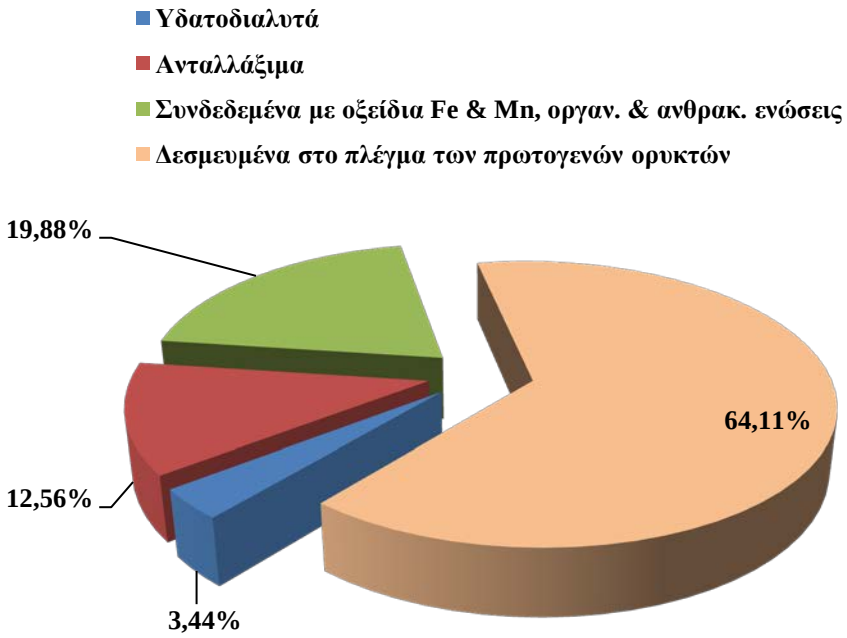
χαμηλότερα από την Καβάλα (3,86-873,1 mg kg^{-1} με μέση τιμή 62,36 mg Pb kg^{-1}) (*Παπαστέργιος* 2008). Η χωρική κατανομή παρουσιάζεται στο σχήμα 8.40 από όπου διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές στο κέντρο της περιοχής έρευνας.

Υδατοδιαλυτές μορφές

Οι υδατοδιαλυτές μορφές μολύβδου κυμαίνονται από μη ανιχνεύσιμες (<0,001) έως 2,06 mg kg^{-1}, ενώ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση είναι 0,67 και 0,69 mg αντίστοιχα. Η πλειοψηφία των τιμών (62%) εμφανίζεται στην κλάση 0-1,0 mg, ενώ η ποσοστιαία κατανομή επί των ολικών είναι 3,44% (Σχήμα 8.41). Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών τιμών παρουσιάζει τις υψηλές τιμές στα εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε δρόμους, υπαινίσσοντας την προέλευσή τους από τις εκπομπές μολυβδούχων καυσαερίων των οχημάτων (Σχήμα 8.42α). Τα εδάφη αυτά περιέχουν υψηλότερο ποσοστό Pb σε πιο εύκολα διαλυτή μορφή, σε σύγκριση με οξείδια Pb προερχόμενα από άλλες πηγές (*Adriano* 2001). Η χαμηλή συγκέντρωση του μολύβδου στα εδαφικά διαλύματα, σε συνδυασμό με ότι το στοιχείο εμφανίζει χαρακτήρα σχεδόν ακίνητο, σημαίνει ότι δεν μεταφέρεται με έκπλυση στα βαθύτερα στρώματα (*Μήτσιος* 2004). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μηδενικό εμπλουτισμό των υπόγειων και επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας.

Ανταλλάξιμες μορφές

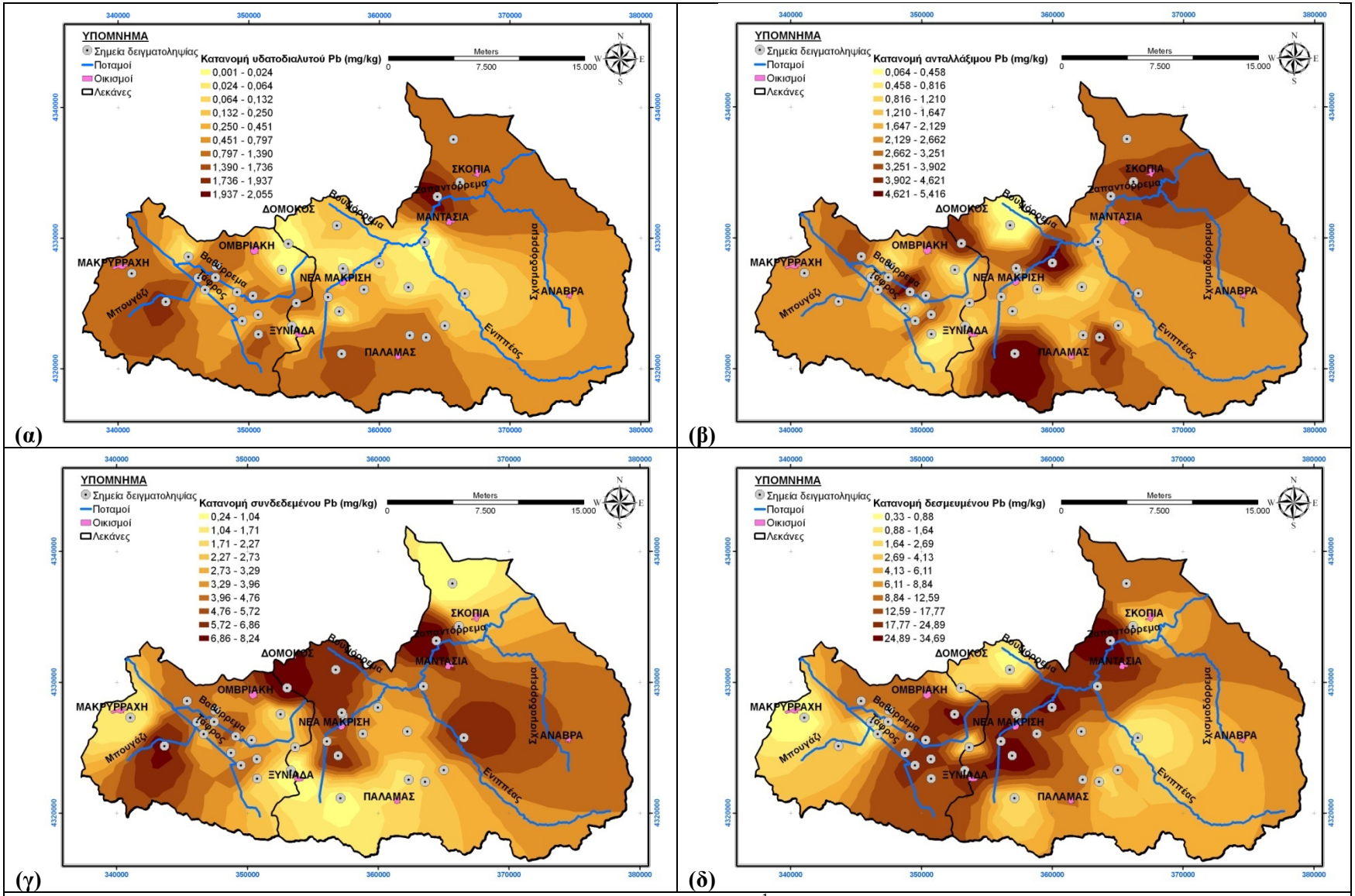
Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των ανταλλάξιμων μορφών Pb είναι 0,06 έως 5,42 mg kg^{-1} με μέση τιμή και τυπική απόκλιση 2,45 και 1,55 mg αντίστοιχα. Ποσοστό 44% των τιμών παρουσιάζονται στην κλάση 0-2 mg και 38% στην κλάση 2-4 mg, ενώ η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι 12,56% (Σχήμα 8.41). Οι υψηλές τιμές των ανταλλάξιμων μορφών μολύβδου εμφανίζονται σημειακά βόρεια και νότια της περιοχής έρευνας, κοντά στο οδικό δίκτυο (Σχήμα 8.42β). Σύμφωνα με μελέτη του *Garcia-Miragaya* (1984) τα εδάφη τα οποία βρίσκονταν δίπλα σε δρόμους είχαν ποσοστό του μολύβδου σε ανταλλάξιμη μορφή έως 0,7%.



Σχήμα 8.41. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Pb επί των ολικών.

Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

Οι συνδεδεμένες μορφές Pb έχουν διακύμανση 0,25 έως 8,24 mg kg^{-1} και μέση τιμή 3,87 mg. Η τυπική απόκλιση είναι 2,12 και η επικρατούσα κλάση (41%) είναι 2-4 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι η δεύτερη μεγαλύτερη με 19,88% (Σχήμα 8.41). Η χωρική κατανομή (Σχήμα 8.42γ) εμφανίζει τις υψηλές τιμές δυτικά και βόρεια της περιοχής έρευνας. Σχετίζεται με την ενσωμάτωση των ιόντων μολύβδου εκτός από την



Σχήμα 8.42(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Pb (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

οργανική ουσία, και τα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου και με τα ορυκτά της αργίλου. Στους πυριτικούς κρυστάλλους το στοιχείο αντικαθιστά το κάλιο με τη διαδικασία της ισόμορφης αντικατάστασης, ενώ στα ανθρακικά άλατα και στον απατίτη αντικαθιστά το ασβέστιο (*Μήτσιος* 2004). Η επίδραση της οργανικής ουσίας στη συγκράτηση του μολύβδου είναι σημαντικότερη σε σχέση με την καταβύθισή του ως ανθρακικό άλας ή την προσρόφησή του από ένυδρα οξείδια (*Ainsworth et al*. 1994).

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Η διακύμανση των δεσμευμένων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφών μολύβδου είναι από 0,34 έως 34,70 mg kg^{-1}, με μέση τιμή 12,49 mg. Η τυπική απόκλιση είναι 10,53 mg ενδεικτική της μεγάλη διασποράς των τιμών. Η πλειοψηφία των τιμών (74%) παρουσιάζεται στην κλάση 0-20 mg και το ποσοστό της γεωγενούς προέλευσης του στοιχείου είναι 64,11% (Σχήμα 8.41). Η χωρική κατανομή των δεσμευμένων στο πλέγμα των ορυκτών συγκεντρώσεων μολύβδου εμφανίζει ομοιότητα με την κατανομή των ολικών λόγω της μεγάλης ποσοστιαίας συμμετοχή τους επί αυτών (Σχήμα 8.42δ). Σχετίζεται με την παρουσία του στοιχείου σε αργιλικά ιζήματα και αργιλλικούς σχιστόλιθους στην περιοχή έρευνας**.**

8.6.7 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο είναι το 24^{o} αφθονότερο στοιχείο, δύο φορές πιο άφθονο από τον Cu, μπορεί να εμφανιστεί με διάφορους αριθμούς οξείδωσης, αλλά μόνο το Ni (II) είναι σταθερό σε ένα ευρύ φάσμα τιμών του pH και οξειδοαναγωγικών συνθηκών του εδαφικού περιβάλλοντος (*Μήτσιος* 2004).

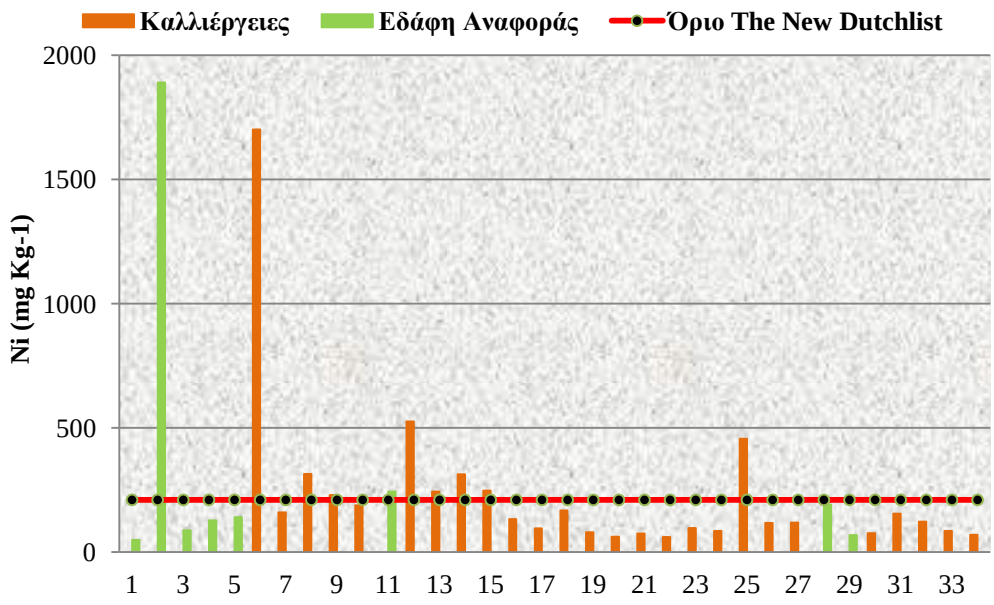
Η μέση συγκέντρωση Ni παγκοσμίως στα εδάφη είναι περίπου 20 mg Ni kg^{-1} ξηρού εδάφους και εξαρτάται πολύ από τη φύση του μητρικού υλικού (*Alloway* 1995). Τα υπερβασικά πετρώματα, όπως ο περιδοτίτης, ο δουνίτης και ο πυρόξενος περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό Ni (270-3.600 mg kg^{-1}). Ακολουθούν τα πυριγενή ορυκτά που είναι άφθονα σε σιδηρομαγνησιούχα και σουλφιδικά ορυκτά (πυρόξενος, ολιβίνης, βιοτίτης και χλωρίτης). Σε αυτά τα ορυκτά, το Ni αντικαθιστά τον Fe και το Mg λόγω της ομοιότητας των ιοντικών ακτίνων αυτών των στοιχείων (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Εδάφη που περιέχουν σερπεντίνη είναι δυνατό να περιέχουν 100-7.000 mg Ni kg^{-1}. Αυτά συνήθως έχουν αραιή βλάστηση λόγω της θρεπτικής ανισορροπίας και φυτοτοξικότητας, καθώς το Ni παρουσία των ιόντων Cr και Co είναι τοξικό (*Brooks* 1987). Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι τα βαριά πηλώδη, αμμώδη και τυρφώδη εδάφη περιέχουν μικρότερη ποσότητα Ni από τα μεσαία ποσοστά αυτού του μετάλλου. Αντίθετα τα πλούσια σε άργιλο εδάφη περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα από τις μεσαίες συγκεντρώσεις (*Μήτσιος* 2004). Παράγοντες που επηρεάζουν την κινητικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα του Ni στο έδαφος είναι η οργανική ουσία, το pH και τα άμορφα οξείδια και κλάσματα της αργίλου. Ειδικά με το pH η κινητικότητα του Ni είναι αντιστρόφως ανάλογή του (*Siebielec and Chaney* 2006).

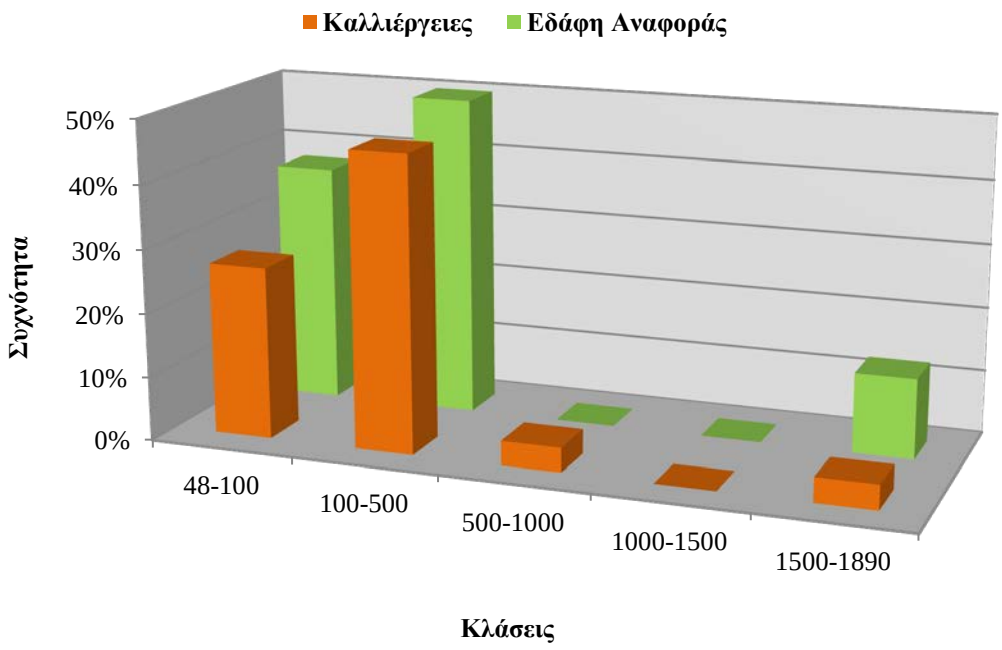
Οι πηγές ανθρωπογενούς προέλευσης του Ni είναι η καύση φυσικών καυσίμων και υπολειμμάτων διύλισης πετρελαίου και ακολουθούν οι τεχνικές επεξεργασίας του μετάλλου, η καύση άνθρακα κλπ. Η προσθήκη λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και ζωικής κοπριάς δεν επιβαρύνει ιδιαίτερα τα εδάφη με Ni, καθώς σε αντίθεση με το Cd τα φωσφορικά λιπάσματα περιέχουν μικρές μόνο ποσότητες Ni (*Alloway* 1995). Τα εδάφη σύμφωνα με την «The New Dutchlist», θεωρούνται επιβαρυμένα σε νικέλιο όταν οι ολικές συγκεντρώσεις του ξεπερνούν το όριο των 210 mg kg^{-1}.

Ολικές συγκεντρώσεις

Οι ολικές συγκεντρώσεις του Ni κυμαίνονται από 48,05 έως 1.890 mg kg^{-1} έχοντας μέση τιμή 257,71 mg, ενδεικτικές της έντονης ύπαρξης υπερβασικών πετρωμάτων στην περιοχή έρευνας. Τα εδάφη σε ποσοστό 29% θεωρούνται επιβαρυμένα σε Ni καθώς εμφανίζουν τιμές πάνω από το όριο των 210 mg kg^{-1} της «The New Dutchlist» (Σχήμα 8.43). Η σύγκριση των καλλιεργειών με τα αντίστοιχα αναφοράς εμφανίζει παρόμοιες τιμές στη

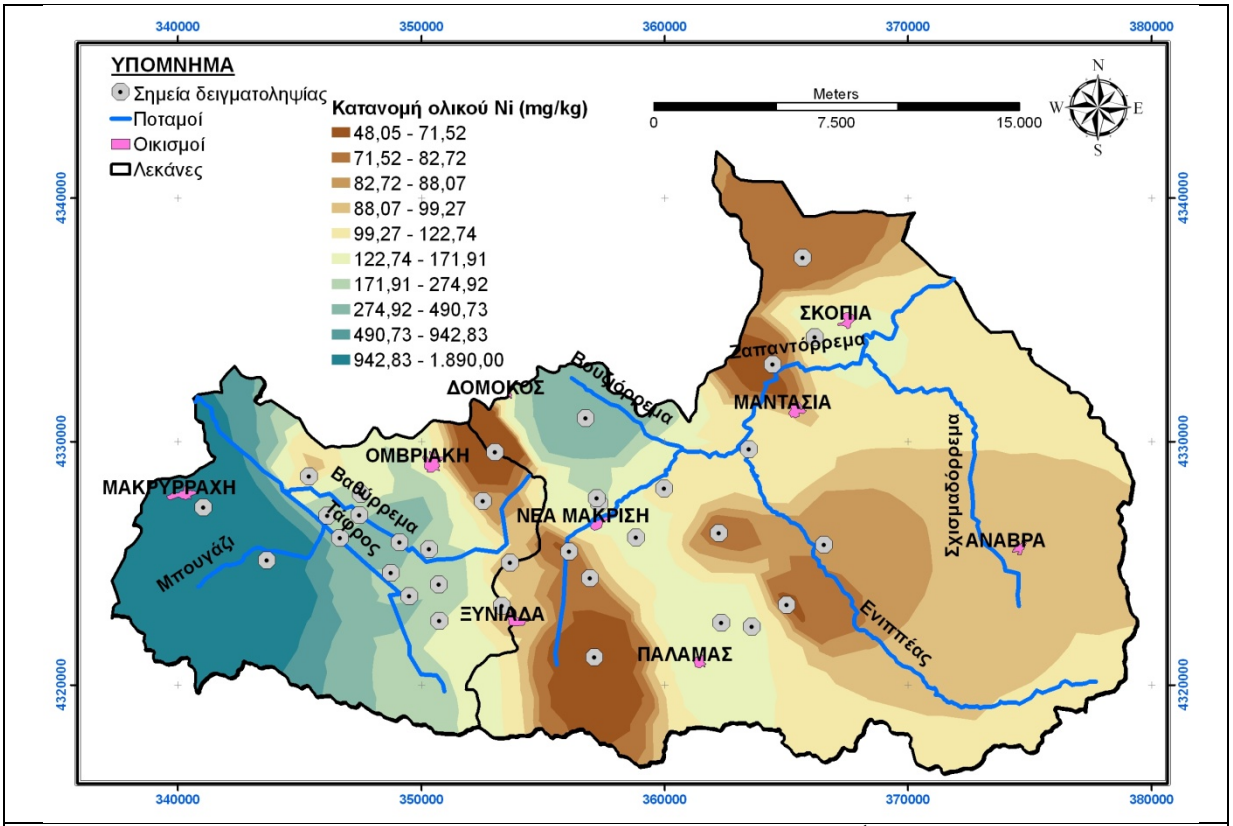


Σχήμα 8.43. Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Ni (mg kg^{-1}) της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (210 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist».



Σχήμα 8.44. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Ni (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

μεγάλη τους πλειοψηφία και κάτω από τα 500 mg kg^{-1} Ni. Εξαίρεση αποτελούν τα δείγματα 2 και 6 με 1.890 και 1.700 mg Ni kg^{-1} αντίστοιχα, η ύπαρξη των οποίων συνδέεται με την έντονη παρουσία υπερβασικών πετρωμάτων (Σχήμα 8.44). Η διαπίστωση αυτή εξηγεί και την εμφάνιση της μεγάλης τυπικής απόκλισης με 405,94 mg. Ο ολικές τιμές Ni είναι υψηλότερες από την Κοζάνη (16,1 mg) (*Stalikas et al.* 1997) και την Καβάλα (μέση τιμή 14,90 mg kg^{-1}) (*Παπαστέργιος* 2008) και χαμηλότερες από τη Θήβα (1.390 mg kg^{-1} μέση τιμή) (*Kelepertsis et al.* 2012) και την Κόρινθο (920 mg kg^{-1} μέση τιμή) (*Kelepertsis et al.* 2001). Η χωρική κατανομή εμφανίζει τις υψηλές τιμές των ολικών συγκεντρώσεων νικελίου στα δυτικά και βόρεια, περιοχές στις οποίες είναι έντονη η παρουσία του οφιολιθικού



Σχήμα 8.45. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Ni (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

συμπλέγματος με τα υπερβασικά πετρώματα (Σχήμα 8.45).

Υδατοδιαλυτές μορφές

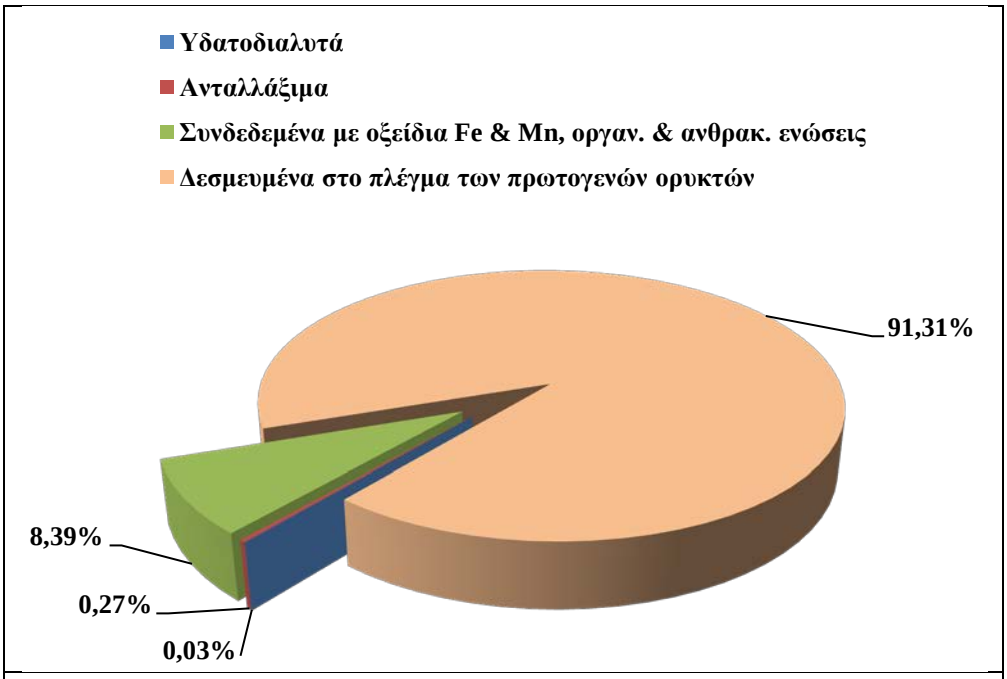
Οι συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών νικελίου κινούνται από 0,01 έως 0,21 mg kg^{-1} με μέση τιμή 0,08 mg kg^{-1}, επικρατούσα την κλάση 0-0,10 mg με 76%, ενώ η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι 0,03% (Σχήμα 8.46). Οι χαμηλές τιμές υδατοδιαλυτού νικελίου σχετίζονται με τις υψηλές τιμές pH της περιοχής έρευνας, καθώς το Ni αναγνωρίζεται ως ένα δυνητικά κινητικό και υδατοδιαλυτό στοιχείο (*Rudd* 1987), αλλά σε τιμές pH κάτω από 6,5 (*Siebielec and Chaney* 2006). Η χωρική κατανομή (Σχήμα 8.47α) παρουσιάζει την τάση αύξησης των τιμών προς το βορειοδυτικό περιθώριο της περιοχής έρευνας, όπου είναι έντονη η παρουσία περιδοτίτη και άλλων βασικών πετρωμάτων. Επιπλέον υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στα εδάφη της πρώην λίμνης. Η ύπαρξη οφιόλιθων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής κι η αποσάθρωσή τους αποτελούν τους βασικούς παράγοντες ύπαρξης συγκεντρώσεων του στοιχείου στην περιοχή αυτή.

Ανταλλάξιμες μορφές

Οι ανταλλάξιμες μορφές νικελίου έχουν μέση τιμή 0,70 mg, διακύμανση από 0,01 έως 2,37 mg kg^{-1} και τυπική απόκλιση 0,68. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι 0,27% (Σχήμα 8.46), ενώ πλειοψηφία των τιμών (ποσοστό 56%) παρατηρούνται από 0,0 έως 0,5 mg. Από τη χωρική κατανομή (Σχήμα 8.47β) διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές σε περιοχές των υπερβασικών πετρωμάτων και στην περιοχή της αποξηραμένης λίμνης. Αυτό συμβαίνει διότι, αν και η ένωση Ni με οργανικά υποστρώματα μπορεί να είναι πολύ ισχυρή, το στοιχείο μπορεί να είναι αρκετά κινητικό σε εδάφη με υψηλή ικανότητα συμπλοκοποίησης (όπως πλούσια σε οργανικά και επιβαρυμένα εδάφη) (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Ακόμη αργιλικά ορυκτά όπως ο μοντμοριλονίτης, έχουν μεγάλη ικανότητα να δεσμεύουν το μέταλλο αυτό (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Στις υπόλοιπες περιοχές η παρουσία των υψηλών τιμών της ανταλλάξιμης μορφής του στοιχείου σχετίζονται με τις τιμές pH.

Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

Οι συνδεδεμένες μορφές του νικελίου στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις έχουν διακύμανση από 2,71 έως 128,24 mg kg^{-1}, μέση τιμή 21,63 και τυπική απόκλιση 27,35 mg kg^{-1}. Η πλειοψηφία των εδαφών (ποσοστό 71%) έχουν τιμές στην κλάση 0 έως 20 mg, παρουσιάζοντας τη δεύτερη μεγαλύτερη ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών με 8,39% (Σχήμα 8.46). Η χωρική κατανομή (Σχήμα 8.47γ) εμφανίζει την τάση αύξησης των τιμών προς τις περιοχές των υπερβασικών, καθώς το Ni στο έδαφος είναι έντονα συνδεδεμένο με τα οξείδια Fe και Mn. Στην περιοχή του τέως λιμναίου περιβάλλοντος οι τιμές παρουσιάζονται χαμηλές, καθώς το Ni προσροφάται κατά προτίμηση στην οργανική ύλη σε ποσοστό 14% (*Rashid and Leonard* 1973), ενισχύοντας την προηγούμενη άποψη περί της κινητικότητας του στοιχείου στα εδάφη αυτά.



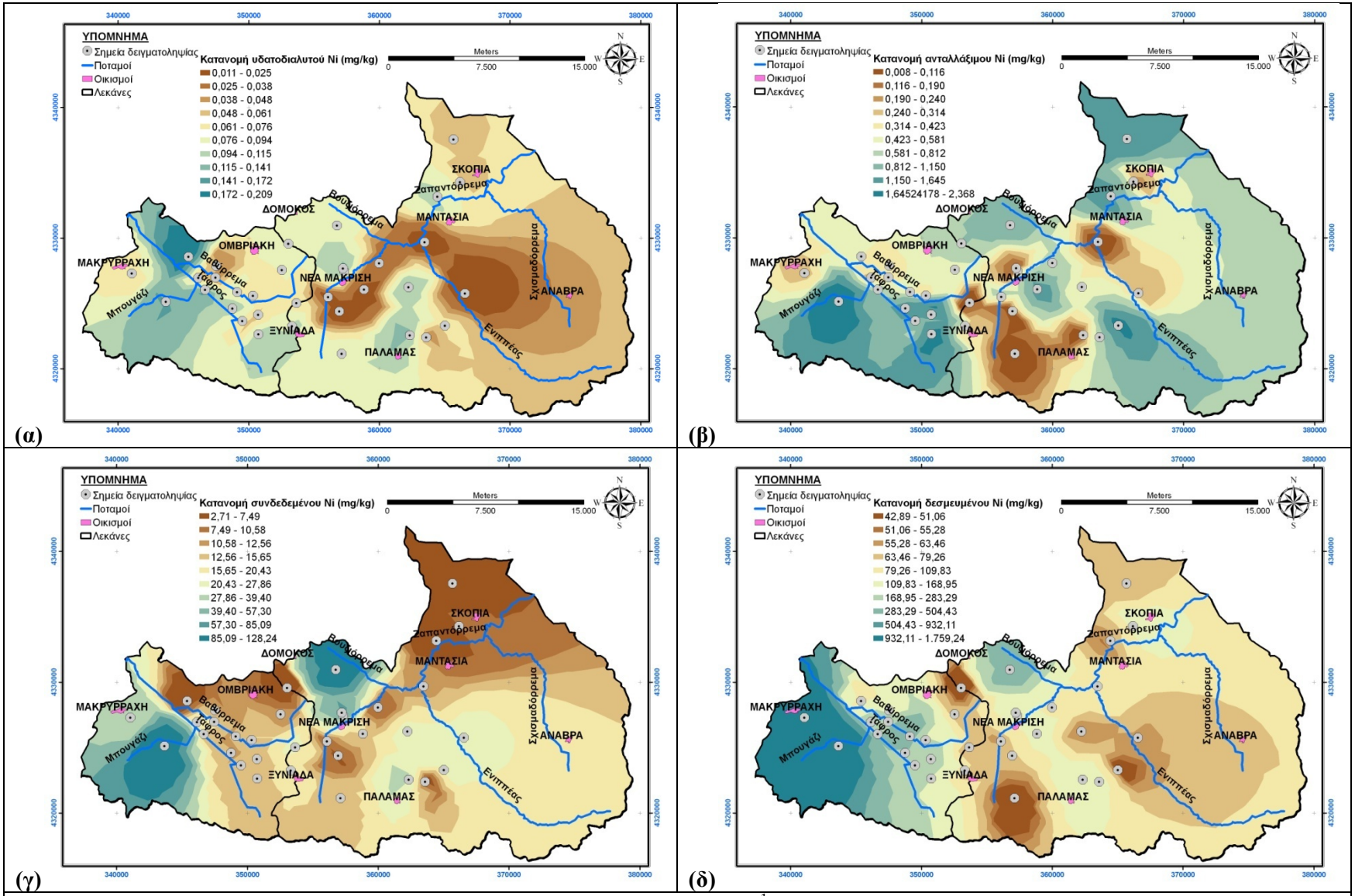
Σχήμα 8.46. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Ni επί των ολικών

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις νικελίου παρουσιάζουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή 42,89 και 1.759,25 mg kg^{-1} αντίστοιχα και μέση τιμή 235,31 mg. Η τυπική απόκλιση είναι μεγάλη (389,04 mg) χαρακτηριστική της μεγάλης διασποράς. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι η μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες μορφές του στοιχείου με 91,31% (Σχήμα 8.46), ενώ η επικρατέστερη συχνότητα εμφάνισης είναι στην κλάση 0-200 mg με 71%. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των δεσμευμένων στο πλέγμα μορφών νικελίου αντανακλούν το περιεχόμενο των μητρικών πετρωμάτων σε νικέλιο. Η χωρική κατανομή (Σχήμα 8.47δ) εντοπίζει τις πιο υψηλές τιμές του στοιχείου στις περιοχές των υπερβασικών με έντονη τη παρουσία περιδοτίτη, αφού περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό του Ni, και ακολουθούν τα βασικά πετρώματα (γάββρος και βασάλτης). Τα αλκαλικά πετρώματα και τα ιζηματογενή πετρώματα περιέχουν ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά Ni.

8.6.8 Κοβάλτιο (Co)

Στη φύση το κοβάλτιο υπάρχει σαν Co^{2+} και Co^{3+} ενώ είναι πιθανός και ο σχηματισμός του συμπλόκου ανιόντος $Co(OH)^{-}_{3}$. Το περιεχόμενο του κοβαλτίου στο έδαφος προέρχεται κυρίως από το μητρικό υλικό και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του στο γήινο φλοιό έχουν παρατηρηθεί σε εδάφη που υπέρκεινται βασικών–υπερβασικών πετρωμάτων (100-200 mg).

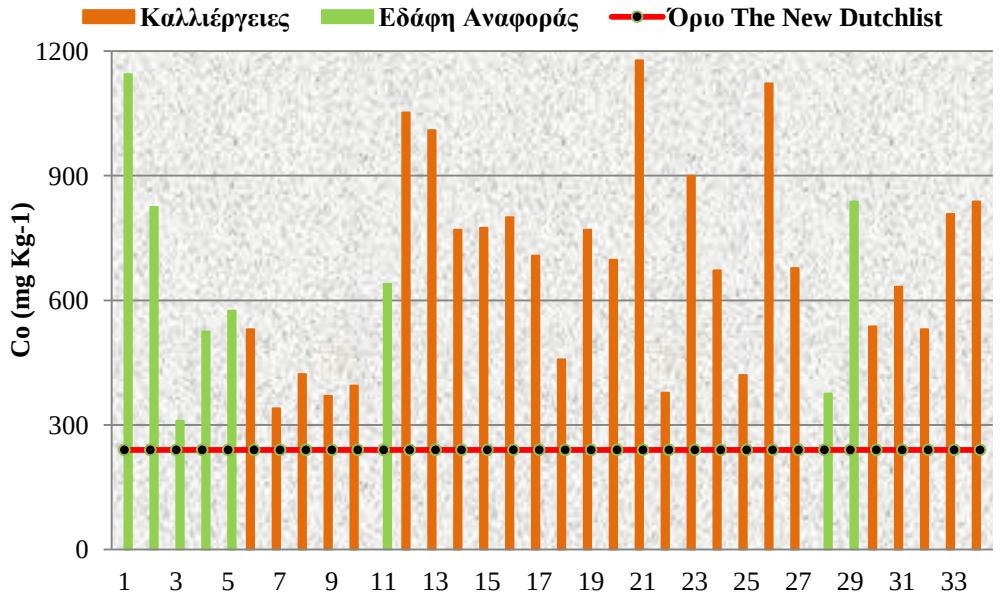


Σχήμα 8.47(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Ni (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

Η συγκέντρωση του στοιχείου στα ιζηματογενή πετρώματα κυμαίνεται από 0,1 έως 20 mg και φαίνεται να σχετίζεται με τα ορυκτά της αργίλου και την οργανική ουσία (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Ο μέσος όρος της συγκέντρωσής του στα εδάφη παγκοσμίως φθάνει τα 8 μg/g (*Bowen* 1979).

Οι μορφές του κοβαλτίου στο έδαφος εξαρτώνται από το δυναμικό οξειδοαναγωγής και το pH, η μείωση των οποίων μπορεί να οδηγήσει στη διαλυτοποίηση του ιζηματογενούς ή του προσροφημένου Co (*Brookins* 1988). Επιπλέον, το στοιχείο προσροφάται από τα κολλοειδή υδροξείδια του Fe και Mn και γι' αυτό η συγκέντρωσή του στο υπόγειο νερό εμφανίζεται μόνο σε ίχνη (*Tisdale and Nelson* 1975). Ειδικά η παρουσία οξειδίων του Mn καθορίζει το τρόπο με τον οποίο ανακατανέμεται το Co στα εδάφη κατά την έκπλυση.

Η απορρόφηση του Co από τα οξείδια του Mn αυξάνεται με το pH και η αντίδραση είναι ταχεία (*Adriano* 2001). Η οργανική ουσία και η σύσταση του εδάφους διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά του Co στο έδαφος. Αν και στα εδάφη που είναι πλούσια σε οργανική ουσία το Co έχει μικρή συγκέντρωσή και διαθεσιμότητα, οι οργανικές χηλικές ενώσεις του Co είναι εύκολα διαθέσιμες για τα φυτά (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Τα εδάφη θεωρούνται επιβαρυμένα σε Co όταν οι τιμές ολικού κοβαλτίου ξεπερνούν το όριο των 240 mg Co kg^{-1} ξηρού βάρους (The New Dutchlist).



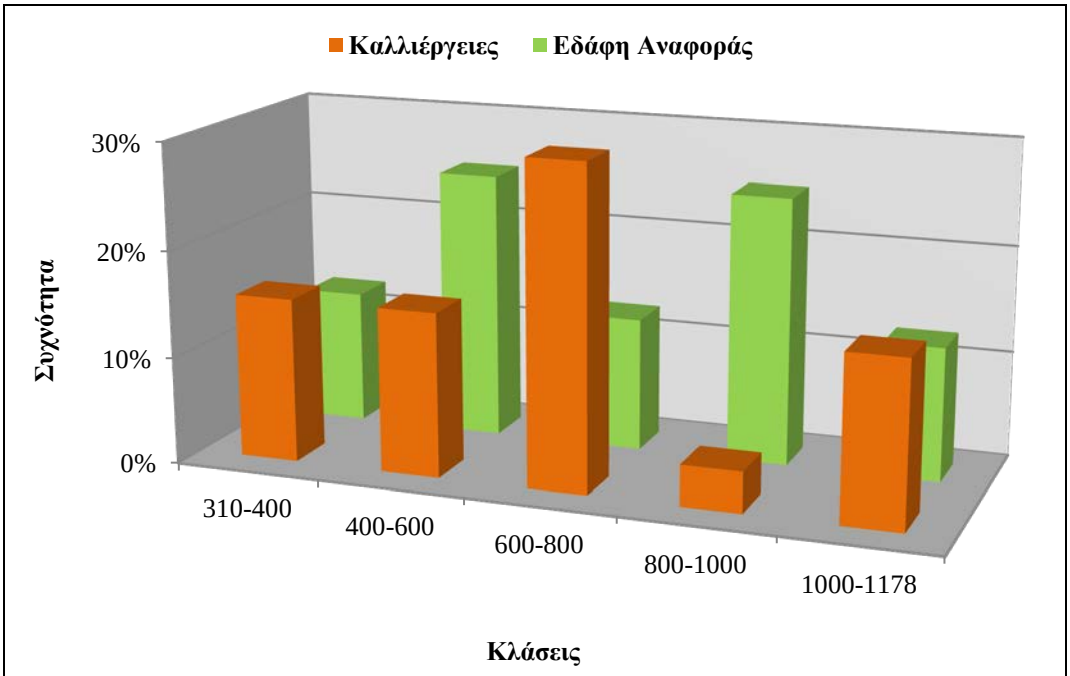
Σχήμα 8.48. Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Co (mg kg^{-1}) της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (240 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist».

Ολικές συγκεντρώσεις

Οι ολικές συγκεντρώσεις κοβαλτίου στην περιοχή έρευνας κινούνται από 310 έως 1.177,5 mg kg^{-1}, με μέση τιμή 677,13 mg. Οι τιμές παρουσιάζουν υψηλή τυπική απόκλιση 245,25 mg kg^{-1}, ενδεικτικές της μεγάλης διασποράς των τιμών, ενώ η επικρατούσα κλάση είναι η 400-800 mg με 53%. Τα εδάφη της περιοχής έρευνας θεωρούνται επιβαρυμένα σε Co σε ποσοστό 100%, καθώς ξεπερνούν το μέγιστο αποδεκτό όριο ρύπανσης εδαφών της «The New Dutchlist» (Σχήμα 8.48). Η σύγκριση των εδαφών εμφανίζει παρόμοια υψηλές τιμές και επικρατούσες κλάσεις στα εδάφη αναφοράς τις 400-600 και 800-100 mg, ενώ στις καλλιέργειες την 600-800 mg. Οι τιμές αυτές συνδέονται με τα εδάφη εκείνα των οποίων το μητρικό υλικό είναι βασικά–υπερβασικά πετρώματα (Σχήμα 8.49).

Οι τιμές ολικού κοβαλτίου παρουσιάζονται σε αρκετά υψηλότερα επίπεδα από την περιοχή της Ανατολικής Αττικής (μέση τιμή 2,35 mg kg^{-1}) (*Χαμπίδη* 2012), την Καβάλα

(μέση τιμή 6,83 mg kg^{-1}) (*Παπαστέργιος* 2008), την Κόρινθο (μέση τιμή 54 mg kg^{-1}) (*Kelepertsis et al.* 2001) και τη Φλώρινα (μέση τιμή 71,8 mg kg^{-1}) (*Τρύφων* 2007). Οι τιμές αυτές στην περιοχή έρευνας επιβεβαιώνουν την άποψη της ύπαρξης των υψηλότερων τιμών κοβαλτίου σε εδάφη που υπέρκεινται βασικών-υπερβασικών πετρωμάτων (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Η χωρική κατανομή παρουσιάζεται στο σχήμα 8.50, από όπου οι υψηλές τιμές εστιάζονται στα βόρεια περιθώρια του οροπεδίου.



Σχήμα 8.49. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Co (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

Υδατοδιαλυτές μορφές

Οι υδατοδιαλυτές συγκεντρώσεις κοβαλτίου κυμαίνονται από μη ανιχνεύσιμες (<0,001) έως 0,61 mg kg^{-1}, με μέση τιμή και τυπική απόκλιση 0,14 mg, ενώ η επικρατούσα κλάση είναι η 0-0,1 mg με 53%. Η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι μόλις 0,02% (Σχήμα 8.51). Σχετίζεται με τη χαμηλή κινητικότητα του στοιχείου στο εδαφικό διάλυμα (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001) και με την τάση προσρόφησης του στοιχείου από τα ένυδρα οξείδια του Fe και Mn (*Tisdale and Nelson* 1975). Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών παρουσιάζεται στο σχήμα 8.52α από όπου διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές σε περιοχές βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων.

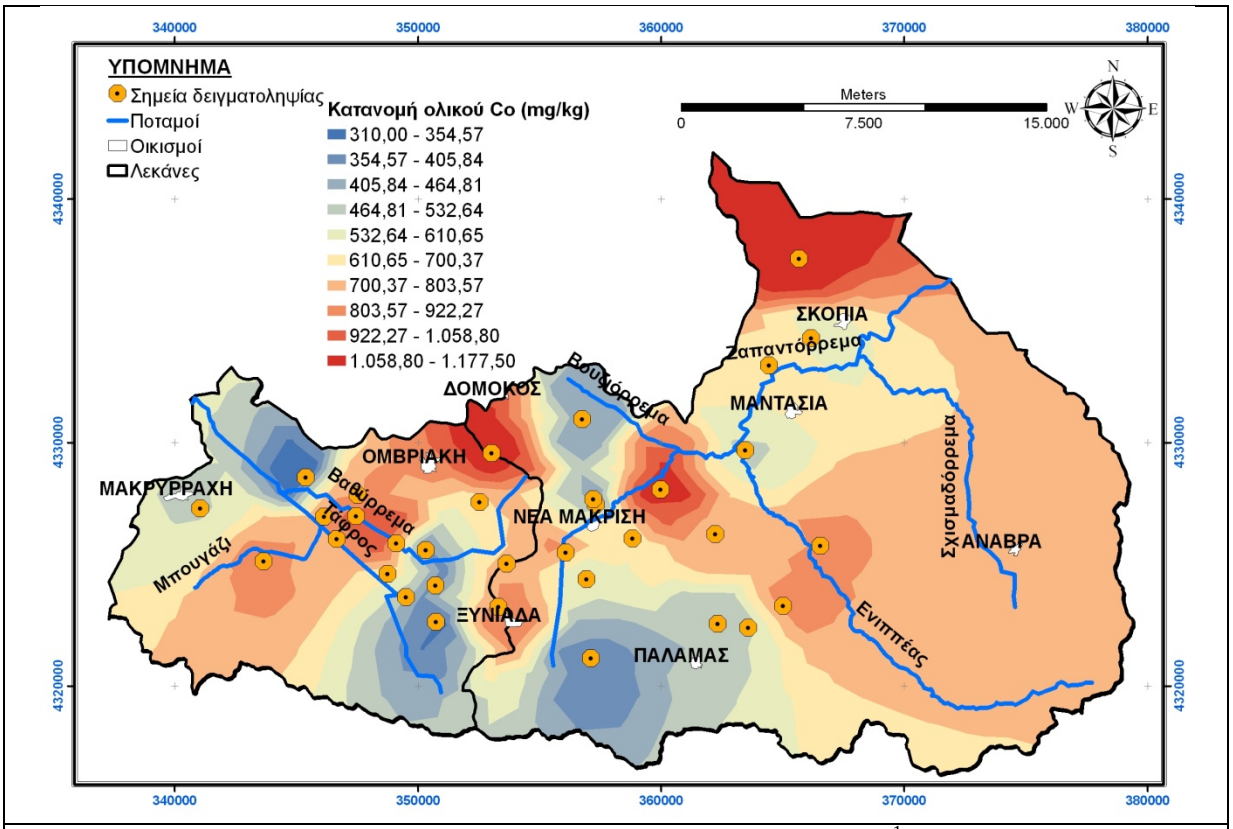
Ανταλλάξιμες μορφές

Η διακύμανση των ανταλλάξιμων μορφών κοβαλτίου είναι από μη ανιχνεύσιμες τιμές (<0,001) έως 3,33 mg kg^{-1}, ενώ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση είναι 1,31 και 0,96 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Επικρατούσα κλάση με 47% είναι η 0-1 mg και το ποσοστό τους επί των ολικών είναι, όπως και των υδατοδιαλυτών μορφών, μικρό 0,19% και συνδέεται με την επιλεκτική προσρόφηση του στοιχείου από τα οξείδια του Fe και Mn (Σχήμα 8.51). Η χωρική κατανομή εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές στα κεντρικά βόρεια και νότια περιθώρια της περιοχής έρευνας, περιοχές ύπαρξης των οφιολιθικών σχηματισμών (Σχήμα 8.52β).

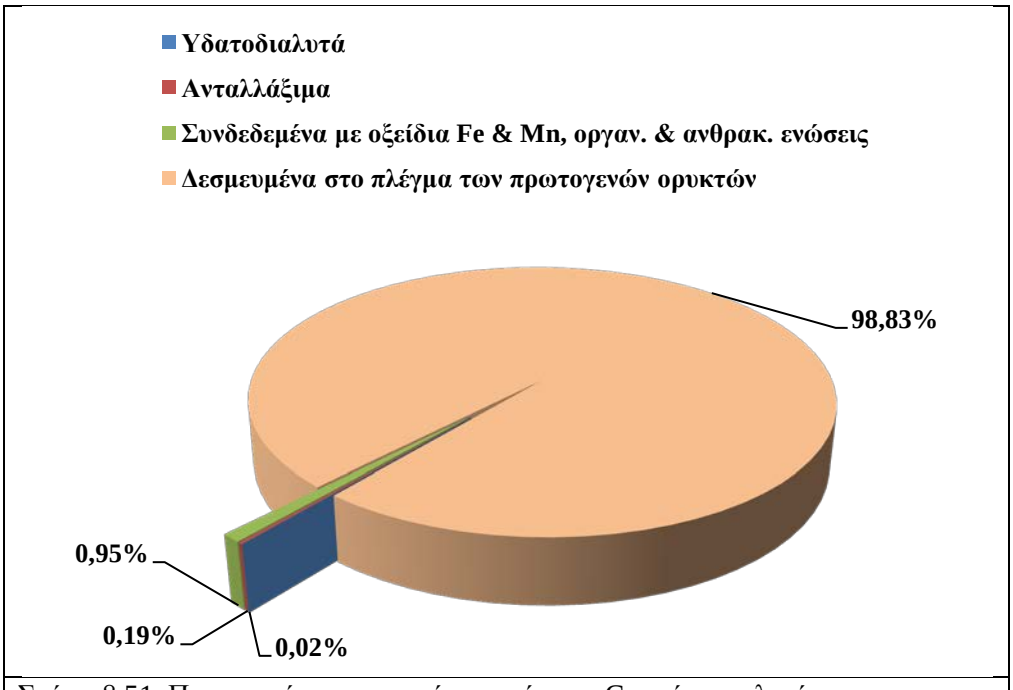
Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

Οι συνδεδεμένες μορφές κοβαλτίου έχουν διακύμανση 1,23 έως 34,96 mg kg^{-1}, μέση τιμή 6,45 mg, τυπική απόκλιση 7,71 mg και μικρό ποσοστό επί των ολικών (0,95%) (Σχήμα 8.51). Η πλειοψηφία των εδαφών (ποσοστό 56%) έχουν τιμές στην κλάση 0 έως 5 mg. Οι συγκεντρώσεις των συνδεδεμένων μορφών κοβαλτίου σχετίζονται περισσότερο με την

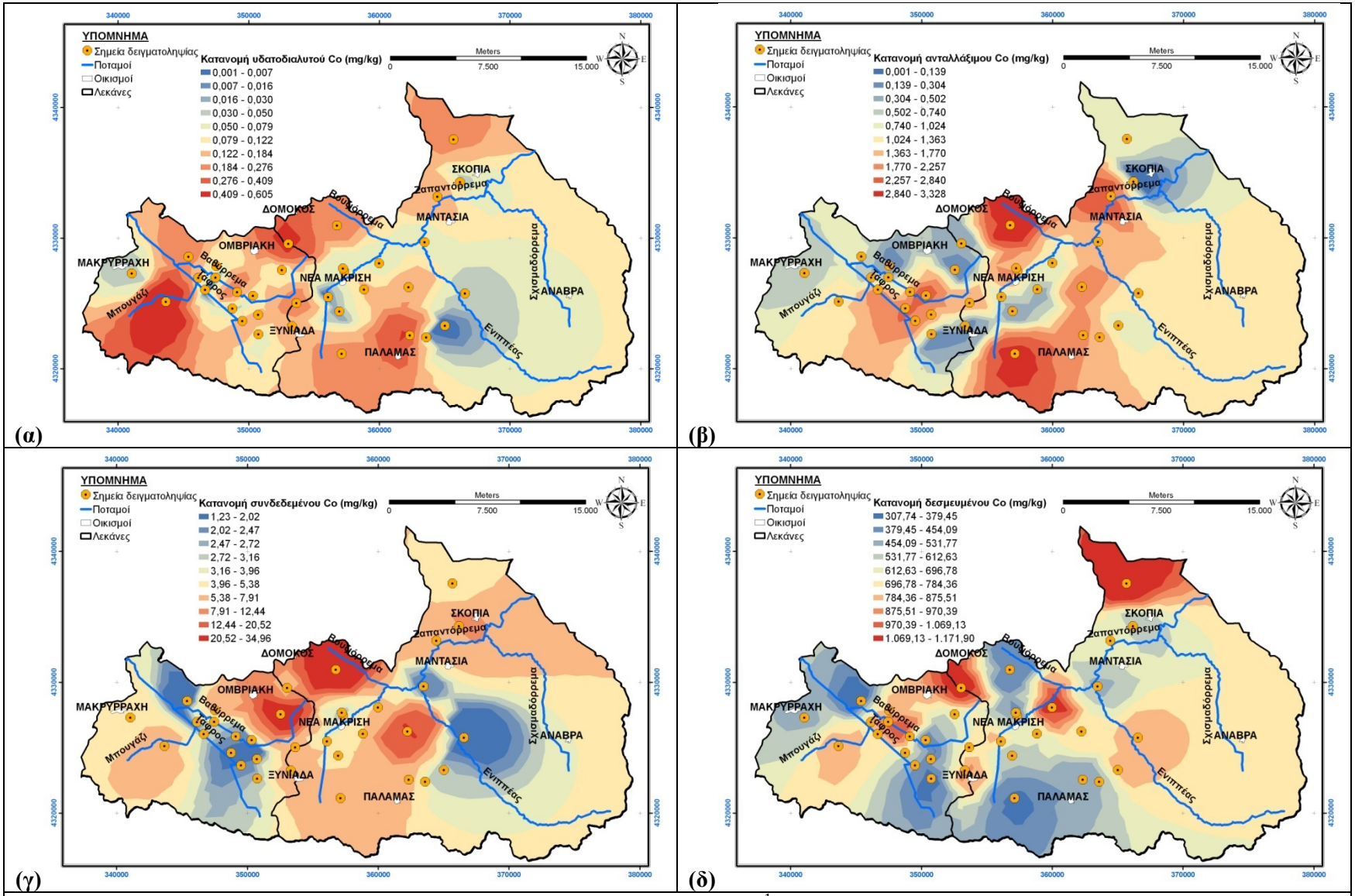
παρουσία οξειδίων Fe και Mn στην περιοχή έρευνας, των οποίων η απορρόφηση αυξάνεται με το pH με αντίδραση ταχείας μορφής (*Adriano* 2001). Επιπλέον, το Co προσροφάται σε ποσοστό 8% κατά προτίμηση στην οργανική ύλη, ποσοστό σχετικά μικρό σε σχέση με άλλα



Σχήμα 8.50. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Co (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 8.51. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Co επί των ολικών.



Σχήμα 8.52(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Co (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

βαρέα μέταλλα (*Rashid and Leonard* 1973). Η χωρική κατανομή (Σχήμα 8.52γ) εμφανίζει την τάση αύξησης των τιμών στα βόρεια του οροπεδίου Δομοκού στις περιοχές των βασικών–υπερβασικών. Οι χαμηλές τιμές παρουσιάζονται στην περιοχή της πρώην λίμνης ενισχύοντας την άποψη ότι το Co έχει μικρή συγκέντρωση και διαθεσιμότητα σε εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις κοβαλτίου παρουσιάζουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή 307,74 και 1.171,90 mg kg^{-1} αντίστοιχα και μέση τιμή 669,23 mg. Η μέση τιμή των δεσμευμένων στο πλέγμα συγκεντρώσεων κοβαλτίου είναι η δεύτερη υψηλότερη μετά το σίδηρο σε σύγκριση με τα υπόλοιπα εξετασθέντα βαρέα μέταλλα, και αντανακλούν το περιεχόμενο των μητρικών πετρωμάτων σε κοβάλτιο. Η τυπική απόκλιση είναι 245,99 mg χαρακτηριστική της μεγάλης διασποράς, ενώ η επικρατέστερη συχνότητα εμφάνισης είναι στην κλάση 400-800 mg με 50%. Το ποσοστό του γεωγενούς κοβαλτίου ανέρχεται στο 98,83% (Σχήμα 8.51), γεγονός που παρουσιάζεται ως φυσιολογικό καθώς το περιεχόμενο του στοιχείου στο έδαφος προέρχεται κυρίως από τα μητρικά πετρώματα (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Η χωρική κατανομή εντοπίζει τις πιο υψηλές τιμές του στοιχείου στις περιοχές με έντονη την παρουσία των βασικών–υπερβασικών πετρωμάτων (Σχήμα 8.52δ).

8.6.9 Χρώμιο ολικό (Cr_{tot})

Το χρώμιο είναι το 21^{ο} σε αφθονία στοιχείο στα πετρώματα του φλοιού της γης, με μια μέση συγκέντρωση 100 mg Cr kg^{-1} πετρώματος. Εμφανίζεται στο περιβάλλον με αριθμό οξείδωσης +3 και +6, με σταθερότερο το Cr (III) (Cr^{3+}) (*Μήτσιος* 2004). Το «speciation» του χρωμίου εξαρτάται από το pH και το Eh κάτω από οποιεσδήποτε περιβαλλοντικές συνθήκες (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Σε έντονα οξειδωτικές συνθήκες όμως το Cr εμφανίζεται ως Cr^{6+}, το οποίο είναι εξαιρετικά τοξικό καθώς σχηματίζει το χρωμικό ανιόν CrO_4^{2-}. Κινητοποιείται εύκολα τόσο σε όξινα όσο και σε αλκαλικά εδάφη και προσροφάται έντονα από τις αργίλους και τα διάφορα υδροξείδια (*Bloomfield and Pruden* 1980).

Το χρώμιο βρίσκεται στα πυριγενή πετρώματα όπου εύκολα υποκαθιστά τον Fe εξαιτίας της παρόμοιας ιοντικής τους ακτίνας ίση με 0,067 nm. Τα βασικά και υπερβασικά πετρώματα είναι τα πλουσιότερα σε Cr, με περιεκτικότητα μέχρι και 3.400 mg kg^{-1} πετρώματος (*Μήτσιος* 2004). Στα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα άμμου, το Cr βρίσκεται σε μικρότερο ποσοστό σε σχέση με τα πλούσια σε άργιλο εδάφη τα οποία περιέχουν και μεγαλύτερο ποσοστό του στοιχείου (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Η μέση συγκέντρωση του χρωμίου παγκοσμίως είναι 55 mg Cr kg^{-1} (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007) και η μέση τιμή της συγκέντρωσής του σε παγκόσμια βάση που είναι υπεύθυνη για φυτοτοξικότητα σε αγροτικά εδάφη είναι 94 mg kg^{-1} (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Το μέγιστο επιτρεπτό όριο του Cr στα εδάφη, σύμφωνα με την «The New Dutchlist» είναι 380 mg kg^{-1}.

Οι πυρίμαχες ιδιότητές του καθιστούν το Cr κατάλληλο για την παραγωγή πυρίμαχων τούβλων και για την επένδυση φούρνων και κλιβάνων. Χρησιμοποιείται επίσης και στις χημικές βιομηχανίες για παρασκευή χρωστικών ουσιών και συντηρητικών ξύλου, στην επιμετάλλωση με ηλεκτρόλυση, στη δημιουργία κραμάτων κλπ. (*Μήτσιος* 2004).

Ολικές συγκεντρώσεις

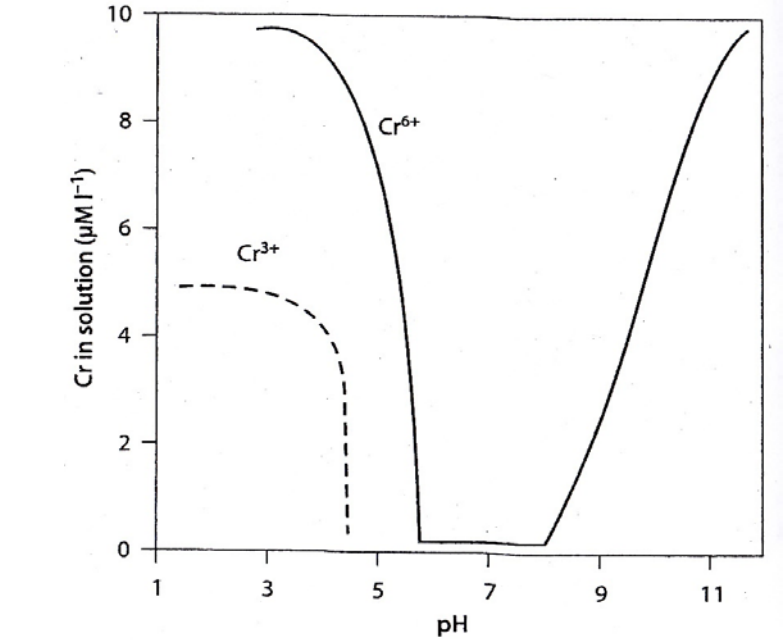
Οι ολικές συγκεντρώσεις χρωμίου παρουσιάζουν μέση τιμή 96,03 mg kg^{-1}, διακύμανση από 12 έως 247,50 mg kg^{-1}, τυπική απόκλιση 53,42 mg kg^{-1} και επικρατούσα με 47% τη κλάση 50-100 mg kg^{-1}. Οι τιμές αυτές σχετίζονται με την ύπαρξη υπερβασικών πετρωμάτων στην περιοχή έρευνας. Το χρώμιο στο έδαφος στην πλειοψηφία του υφίσταται με τη σχετικά αδιάλυτη και λιγότερο ευκίνητη μορφή του Cr^{3+}, η οποία κυριαρχεί, και εμφανίζεται με τη μορφή αδιάλυτων υδροξειδίων και οξειδίων (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Από το σχήμα 8.53 διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση του Cr^{6+} στα εδάφη σε pH 6-8 είναι

πάρα πολύ μικρή και έχει σταθερή τιμή, σε pH 3-6 έχουμε την φθίνουσα πορεία της και σε pH 8-11 έχουμε μια αύξουσα πορεία της συγκέντρωσης διαλυτότητας (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Κατά συνέπεια, στα εδάφη της περιοχής έρευνας και βάση των τιμών του pH το χρώμιο βρίσκεται στην Cr^{3+} μορφή του.

Τα εδάφη του οροπεδίου Δομοκού δε θεωρούνται επιβαρυμένα σε Cr, καθώς δεν ξεπερνούν το όριο των 380 mg kg^{-1} της «The New Dutchlist» (Σχήμα 8.54). Η σύγκριση μεταξύ των εδαφών στο σχήμα 8.55 εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές στις κλάσεις 50-100 και 100-150 mg και σχετίζεται με την παρουσία των οφιολιθικών σχηματισμών στην περιοχή.

Οι ολικές συγκεντρώσεις χρωμίου παρουσιάζονται υψηλότερες από την Καβάλα (16,08 mg kg^{-1} μέση τιμή) (*Παπαστέργιος* 2008) και τη Φλώρινα (50 mg kg^{-1} μέση τιμή) (*Τρύφων* 2007) και υψηλότερες από τη Θήβα (299 mg kg^{-1} μέση τιμή) (*Kelepertsis et al.* 2012) και την Κόρινθο (920 mg kg^{-1} μέση τιμή) (*Kelepertsis et al.* 2001). Από τη χωρική κατανομή διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές στις περιοχές των πλούσιων σε χρώμιο υπερβασικών πετρωμάτων (Σχήμα 8.56).



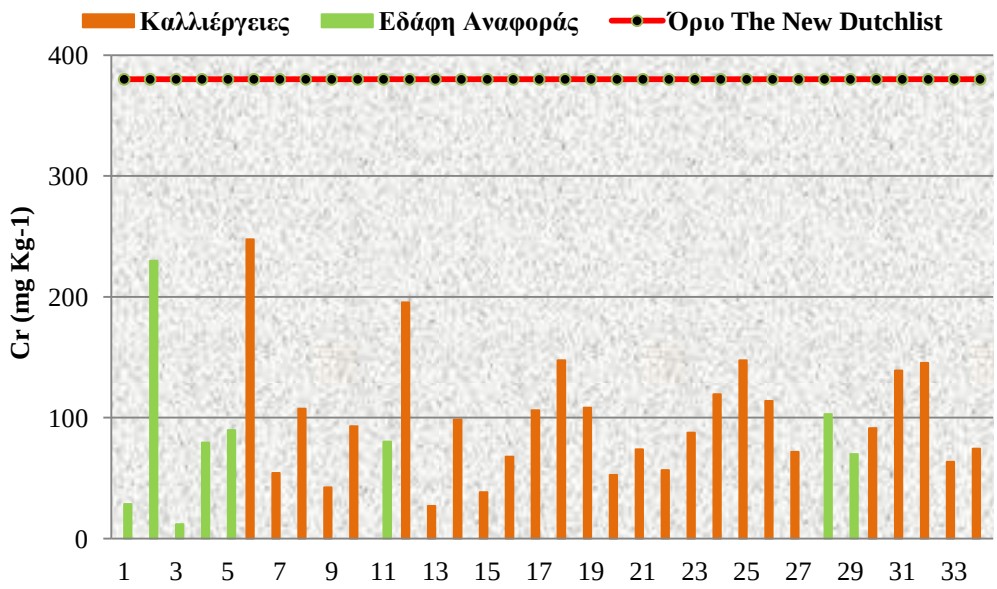
Σχήμα 8.53. Διαλυτότητα του Cr^{3+} και Cr^{6+} στα εδάφη σε συνάρτηση με το pH (*Bartlett and Kimble* 1976 από *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007).

Υδατοδιαλυτές μορφές

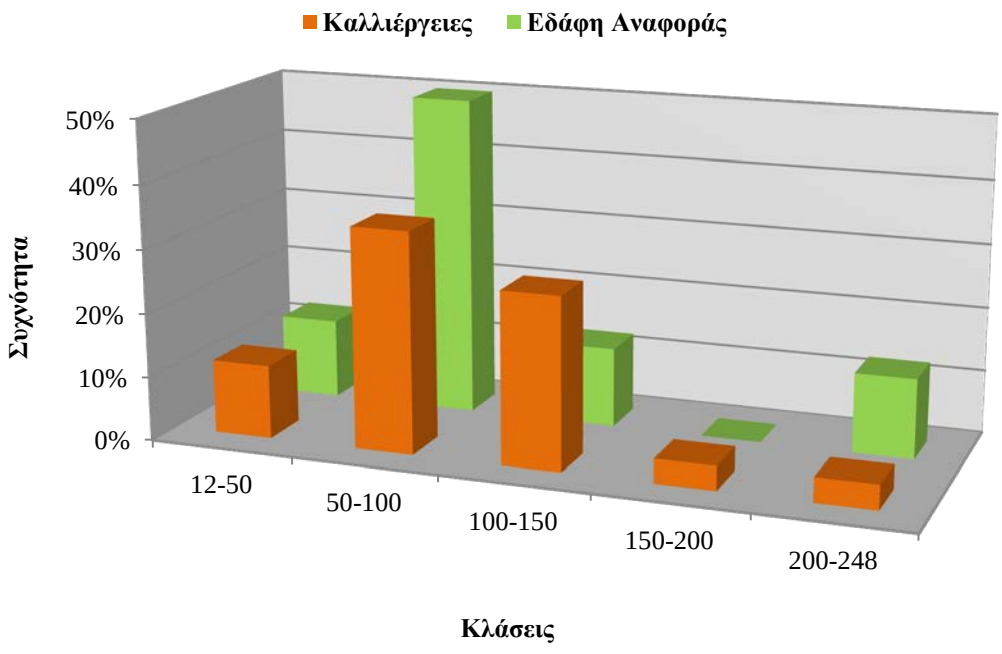
Οι συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών χρωμίου είναι από μη ανιχνεύσιμες (<0,001) έως 0,003 mg kg^{-1}. Οι χαμηλές σε επίπεδο ιχνών αυτές τιμές σχετίζονται με την αντίσταση στην έκπλυση των ορυκτών χρωμίου το οποίο είναι μη εύκολα μετακινήσιμο και μη εύκολα διαθέσιμο στα φυτά (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001, *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Από τη χωρική κατανομή που παρουσιάζεται στο σχήμα 8.58α διαπιστώνεται η ύπαρξη των υδατοδιαλυτών μορφών χρωμίου στα δυτικά της περιοχής έρευνας στις περιοχές των οφιόλιθων και στο κέντρο στην περιοχή των μεταλλείων.

Ανταλλάξιμες μορφές

Οι ανταλλάξιμες μορφές χρωμίου παρουσιάζουν διακύμανση από μη ανιχνεύσιμες (<0,001) έως 0,64 mg kg^{-1}. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση είναι 0,19 και 0,14 mg kg^{-1} αντίστοιχα. Η πλειοψηφία των τιμών (62%) εμφανίζεται μεταξύ 1 και 3 mg και το ποσοστό συμμετοχής επί των ολικών είναι 0,2% (Σχήμα 8.57). Οι ανταλλάξιμες μορφές χρωμίου



Σχήμα 8.54. Οι συγκεντρώσεις των ολικών συγκεντρώσεων Cr (mg kg^{-1}) της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (380 mg kg^{-1}) της «The New Dutchlist».



Σχήμα 8.55. Ιστόγραμμα σύγκρισης των ολικών συγκεντρώσεων Cr (mg kg^{-1}) των καλλιεργειών με τα εδάφη αναφοράς.

σχετίζονται με την ύπαρξη του στοιχείου στους οφιολιθικούς σχηματισμούς της περιοχής. Η χωρική κατανομή εμφανίζει τις υψηλές τιμές στις καλλιεργούμενες περιοχές της λεκάνης Ξυνιάδας, των οποίων το υπόβαθρο είναι οφιόλιθοι, και στο βορειανατολικό άκρο της περιοχής έρευνας (Σχήμα 8.58β).

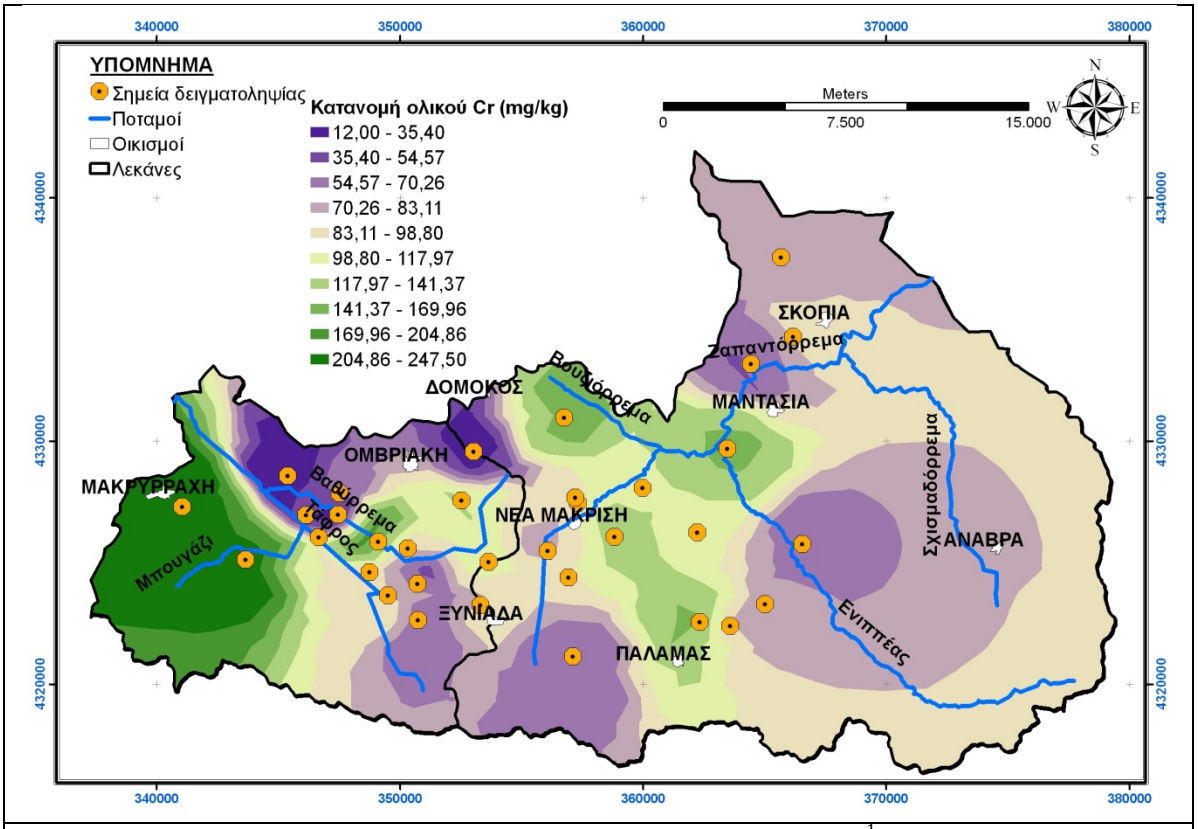
Συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις

Οι συνδεδεμένες μορφές του χρωμίου παρουσιάζουν διακύμανση από 0,1 έως 4 mg kg^{-1}, με μέση τιμή 1,40 και τυπική απόκλιση 0,93 mg kg^{-1}. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι 1,45% (Σχήμα 8.57) και το μεγαλύτερο ποσοστό (53%) των τιμών εμφανίζεται μεταξύ 1 και 2 mg. Η δέσμευση του Cr συνδέεται κυρίως με την περιεκτικότητα του

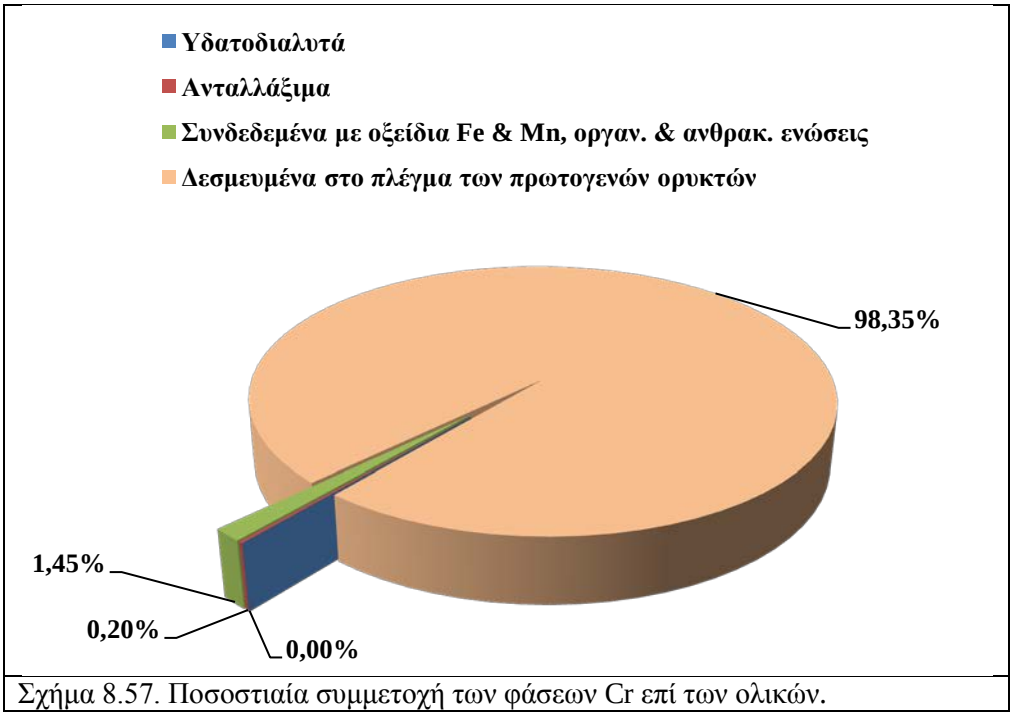
εδάφους σε άργιλο και σε μικρότερο βαθμό με τα οξείδια του σιδήρου και την οργανική ουσία (*Bartlett* 1999). Η χωρική κατανομή παρουσιάζεται στο σχήμα 8.58γ από όπου διαπιστώνεται η ύπαρξη των υψηλών τιμών στα βόρεια και κεντρικά της λεκάνης Σκοπιάς.

Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

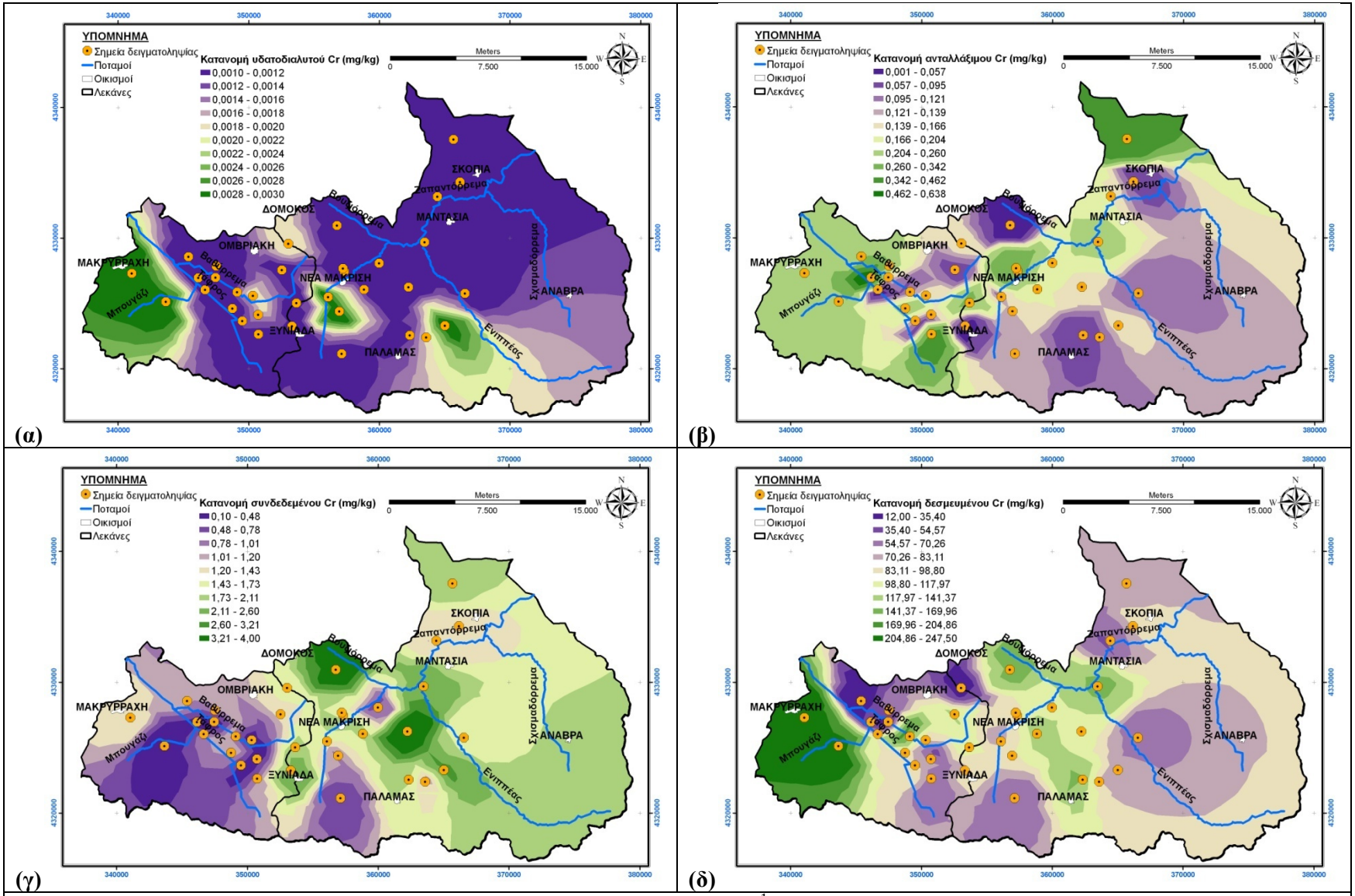
Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφές χρωμίου κινούνται από



Σχήμα 8.56. Χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων Cr (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.



Σχήμα 8.57. Ποσοστιαία συμμετοχή των φάσεων Cr επί των ολικών.



Σχήμα 8.58(α-δ). Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων των μορφών Cr (mg kg^{-1}) στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

10,65 έως 245,91 mg kg^{-1}, με μέση τιμή 94,45 και τυπική απόκλιση 53,31 mg kg^{-1}. Η πλειοψηφία των τιμών με ποσοστό 47% εμφανίζεται στην κλάση 50 έως 100 mg. Η ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών είναι 98,35% (Σχήμα 8.57), αρκετά υψηλή, επιβεβαιώνοντας την υπόθεση ότι το χρώμιο παρατηρείται κυρίως στη φάση των δεσμευμένων στο πλέγμα των ορυκτών (*Kabata-Pendias* 1993). Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφές χρωμίου σχετίζονται με την έντονη παρουσία στην περιοχή έρευνας της οφιολιθικής ακολουθίας και των συνοδών υπερβασικών πετρωμάτων, καθώς και των προϊόντων εξαλλοίωσής τους. Η χωρική κατανομή εμφανίζει την τάση αύξησης των τιμών στο δυτικό και βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας, όμοια με την κατανομή των ολικών, λόγω της μεγάλης ποσοστιαίας συμμετοχή τους επί αυτών (Σχήμα 8.58δ).

8.7 Στατιστική επεξεργασία εδαφοχημικών αποτελεσμάτων

8.7.1 Γενικά

Για τη διερεύνηση και ερμηνεία των εδαφικών συνθηκών στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των εδαφοχημικών δεδομένων.

Η εφαρμογή στατιστικής ανάλυσης αποτελεί έναν επιστημονικά άρτιο τρόπο ποσοτικοποίησης δεδομένων και έχει εφαρμοστεί με επιτυχία από διάφορους ερευνητές σε διαφορετικούς τομείς επιστημών. Στο μάρκετινγκ και στις οικονομικές επιστήμες (*Geweke* 1977, *Greenacre* 1984, *Hoffman & Franke* 1986, *Birks and Birts* 1998), στην ψυχολογία και στις κοινωνικές επιστήμες (*Molenaar* 1985, *Metz* 1998, *Coolican* 2009), στις περιβαλλοντικές επιστήμες (*Παπαθεοδώρου και Φερεντίνος* 1994, *Akoumianaki & Nicolaidou* 2007, *Χαριζόπουλος* 2009, *Neofitou et al.* 2013) καθώς και στην εδαφοχημεία (*Samson and Lewis* 1991, *Kalähne et al.* 2000, *Kumru and Baka* 2003, *Kisekkaa et al.* 2013).

Στην παρούσα διατριβή για τη στατιστική επεξεργασία των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων εφαρμόστηκαν οι στατιστικές μέθοδοι της ανάλυσης συσχέτισης (Correlation Analysis), της παραγοντικής ανάλυσης (R-Factor Analysis) και της ανάλυσης σε ομάδες (Cluster Analysis) με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου *SPSS 19.0* (2010).

8.7.2 Ανάλυση συσχέτισης (Correlation Analysis)

Ανάλυση συσχέτισης είναι μια σειρά από στατιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν το μέγεθος της συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson (r) που ανήκει στην κατηγορία των σταθμισμένων δεικτών. Είναι, δηλαδή στατιστικός δείκτης που έχει συγκεκριμένο εύρος με αποτέλεσμα να έχει νόημα από μόνος του και χωρίς τη σύνδεση του με επίπεδα σημαντικότητας ή άλλες πληροφορίες (*Εμβαλώτης κά.* 2006). Το εύρος που μπορεί να πάρει ο r είναι από -1 έως και +1, με το μηδέν να αντιπροσωπεύει μηδενική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών. Για την αξιολόγηση του μεγέθους του δείκτη τιμές από 0,61 έως 0,80 θεωρούνται ισχυρή σχέση και > 0,81 εξαιρετικά ισχυρή σχέση (*Εμβαλώτης κά.* 2006).

Από την ανάλυση συσχέτισης κατά Pearson (r) των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων και τον πίνακα συσχέτισης (Correlation matrix) διαπιστώνεται (Πίνακας 8.4):

- Ισχυρή θετική συσχέτιση του Ni με το Cr (r=0,74) που αποδίδεται στην ταυτόχρονη παρουσία των δύο μετάλλων στους οφιολιθικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας.

8.7.3 Παραγοντική ανάλυση (R-Factor Analysis)

Η διαδικασία Factor Analysis (ανάλυση παραγόντων) με τη μέθοδο της Principal Component Analysis επιχειρεί να προσδιορίσει τις βασικές μεταβλητές, ή τους παράγοντες, που ερμηνεύουν τους συσχετισμούς μέσα σε ένα σύνολο παρατηρημένων μεταβλητών. Η παραγοντική ανάλυση χρησιμοποιείται συχνά σε διαδικασίες μείωσης δεδομένων και τον εντοπισμό, από έναν αρχικά πολύ μεγαλύτερο αριθμό μεταβλητών, σε ένα μικρό αριθμό

παραγόντων που εξηγούν και το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης. Έτσι, η Factor Analysis μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία υποθέσεων σχετικά με αιτιολογικούς μηχανισμούς ενός γεγονότος ή τον εντοπισμό μεταβλητών για μεταγενέστερη ανάλυση, ενώ οι μεταβλητές πρέπει να είναι ποσοτικές (*http://publib.boulder.ibm.com*).

Πίνακας 8.4. Συντελεστές συσχέτισης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων της περιοχής έρευνας.

	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	Cd
Fe	1,00								
Mn	0,24	1,00							
Cu	0,43	0,47	1,00						
Zn	0,50	0,17	0,31	1,00					
Pb	0,05	-0,06	-0,11	0,12	1,00				
Ni	-0,15	-0,15	-0,33	-0,46	-0,25	1,00			
Co	0,18	-0,09	0,16	-0,00	-0,06	-0,01	1,00		
Cr	0,27	0,08	0,03	-0,09	-0,11	**0,74**	-0,01	1,00	
Cd	0,13	-0,04	0,30	0,12	-0,19	0,02	0,18	0,28	1,00

Η διαδικασία της ανάλυσης παραγόντων εκτυλίσσεται στα εξής στάδια (*Darren & Mallery* 2003, *Νοβά–Καλτσούνη* 2006, *Βουδούρης* 2009, *http://www.psych.uoa.gr*):

1) Δημιουργία του πίνακα συσχέτισης (Correlation Matrix).

Στον πίνακα αυτόν μπορεί να διακρίνει κανείς ποιές μεταβλητές έχουν μια ισχυρή συσχέτιση και ποιες ενδεχομένως δεν θα συνυπολογιστούν στην εξαγωγή των παραγόντων γιατί έχουν μια πολύ ασθενή συσχέτιση με τις υπόλοιπες. Οι μεταβλητές θα πρέπει να συσχετίζονται επαρκώς ($r > 0,20$) αλλά όχι υπερβολικά ($r < 0,80$). Για τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων το SPSS παρέχει δύο δείκτες: α) το δείκτη Keiser-Meyer-Olkin (KMO) που αξιολογεί την επάρκεια του δείγματος (>.50) (*Norusis* 2011) και β) το δείκτη σφαιρικότητας του Bartlett που αξιολογεί το κατά πόσο οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών επιτρέπουν την εφαρμογή της ανάλυσης παραγόντων ($p <0.05$) (*Cattell* 1978).

2) Εξαγωγή των παραγόντων (Factor Extraction).

Για την επιλογή του καταλληλότερου αριθμού παραγόντων εφαρμόζονται δύο κριτήρια: α) Η επιλογή των παραγόντων αυτών που συσχετίζονται με ιδιοτιμές (eigenvalues) ίσες ή μεγαλύτερες της μονάδας. Η ιδιοτιμή δείχνει ποιο τμήμα της διασποράς όλων των μεταβλητών ερμηνεύεται από ένα συγκεκριμένο παράγοντα, ενώ η προσαρμογή (Communality) δείχνει τη διασπορά μιας μεταβλητής, η οποία ερμηνεύεται απ' όλους τους παράγοντες. β) το κριτήριο «*Cattell's Scree test*» σύμφωνα με το οποίο επιλέγονται παράγοντες που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες ιδιοτιμές.

3) Περιστροφή (rotation) των παραγόντων.

Η περιστροφή των παραγόντων είναι απαραίτητη για την ευκολότερη ερμηνεία των παραγόντων (ή συνιστωσών) που έχουν προκύψει από την ανάλυση. Ο στόχος της 'rotation' είναι να επιτευχθεί αυτό που ονομάζεται απλή δομή. Αν η βαρύτητα (σημαντικότητα) δηλ. του παράγοντα είναι υψηλή ή χαμηλή έτσι ώστε τα σημεία των δεδομένων να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς τους άξονες. Η συνηθέστερα χρησιμοποιουμένη μέθοδος περιστροφής είναι η Varimax (*Kaiser* 1958), διαδικασία που δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

4) Υπολογισμός των παραγοντικών τιμών (Factor scores).

Ο υπολογισμός των παραγοντικών τιμών υποδεικνύει την επίδραση κάθε παράγοντα σε κάθε θέση δειγματοληψίας, ενώ ο κάθε παράγοντας μπορεί να εκφρασθεί ως γραμμικός συνδυασμός των αρχικών μεταβλητών.

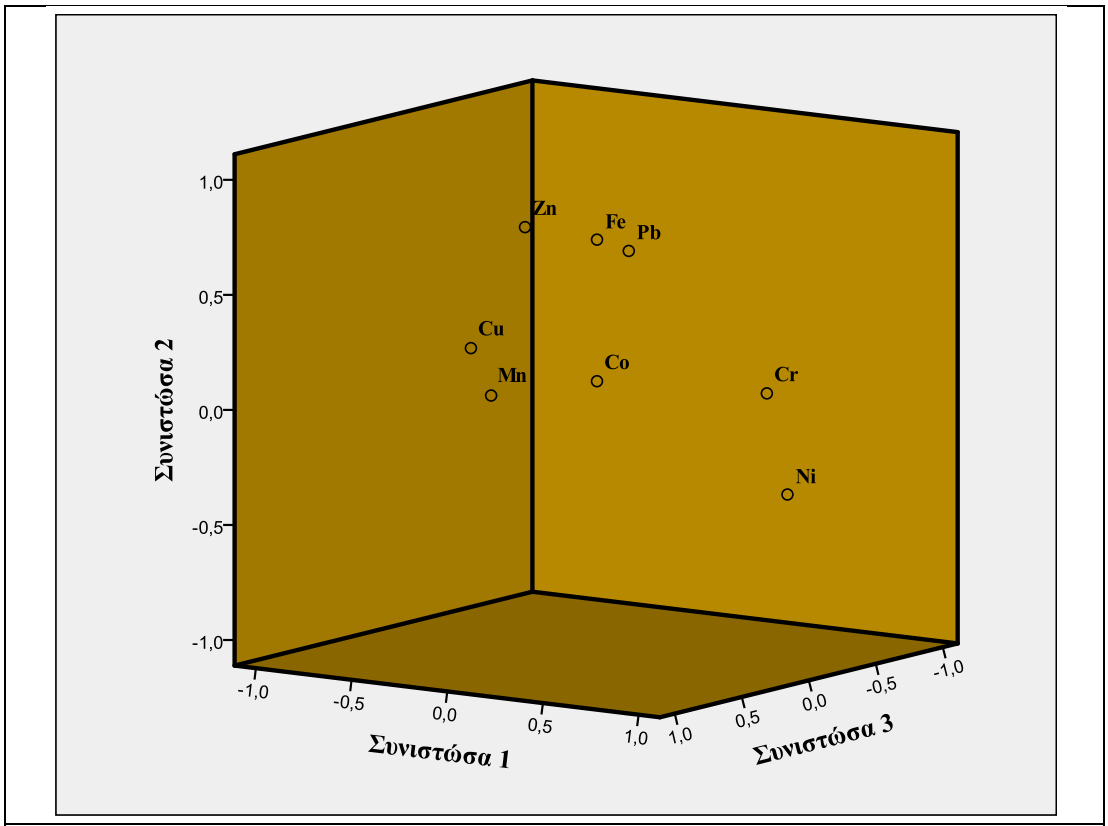
5) Ερμηνεία των παραγόντων.

Η ερμηνεία των παραγόντων που έχουν χαρακτηρισθεί σημαντικοί είναι έργο του ερευνητή, ο οποίος πρέπει να δώσει σαφείς και λογικές ερμηνείες με σκοπό την ολοκλήρωση της έρευνας του.

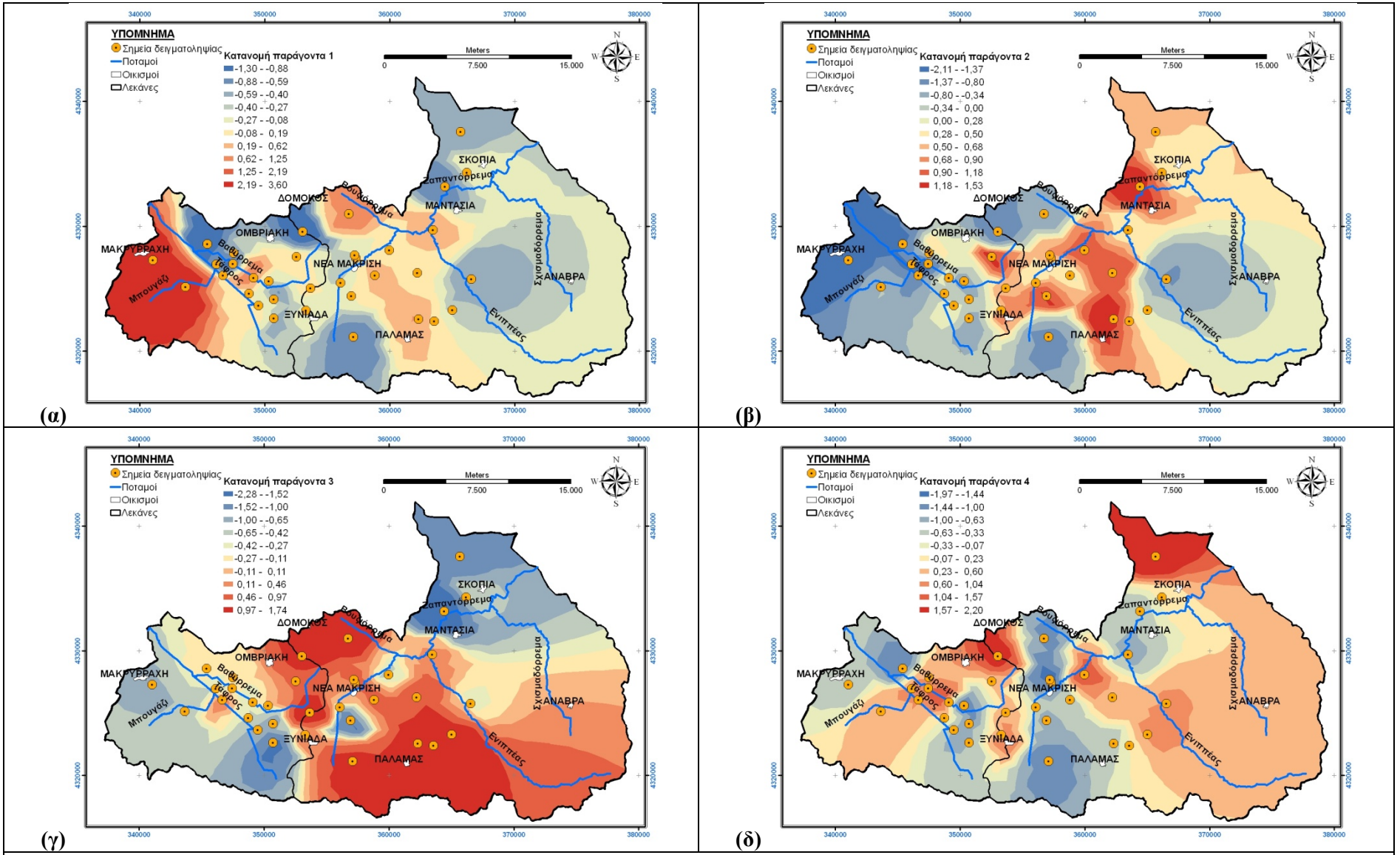
Η επιλογή της Factor Analysis, για τη στατιστική επεξεργασία των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων πραγματοποιήθηκε γιατί έχει χρησιμοποιηθεί με σημαντικά αποτελέσματα σε επιστημονικές εργασίες που αφορούσαν δεδομένα αναλύσεων εδάφους (*Webster and Oliver* 1990, *Brejda et al.* 2000, *Maiz et al.* 2000, *Andews et al.* 2002, *Tariq et al.* 2005, *Shukla et al.* 2006).

Ο δείκτης Keiser-Meyer-Olkin ήταν 0,51 (>0,50) και ο δείκτης σφαιρικότητας Bartlett's, sig ήταν 0,00 (<0,05) (Παράρτημα ΙΙ), εμφανίζοντας την μέθοδο ως αξιόπιστη. Οι τιμές των φορτίων βελτιστοποιήθηκαν με τη μέθοδο Varimax Rotation, κατά την τελική εφαρμογή της μεθόδου Principal Components Analysis. Προσδιορίστηκαν τέσσερις παράγοντες για τις ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων της περιοχής έρευνας, σύμφωνα με το κριτήριο «*Cattell's Scree test*», που ερμηνεύουν το 78,9% της ολικής διακύμανσης. Οι τιμές εταιρικότητας των μεταβλητών είναι αρκετά πάνω από (>0,5) που σημαίνει ότι το μοντέλο των τεσσάρων παραγόντων λειτουργεί αρκετά ικανοποιητικά (Σχήμα 8.59, Πίνακας 8.5), ενώ επιπλέον υπολογίστηκαν και οι παραγοντικές τιμές σε κάθε θέση δειγματοληψίας:

- Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 23,1% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τις παραμέτρους του Cr (0,95) και του Ni (0,89). Ο παράγοντας αντανακλά τα πλούσια σε νικέλιο και χρώμιο οφιολιθικά πετρώματα του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής έρευνας και των προϊόντων εξαλλοίωσης τους, τα οποία παράγουν εδάφη πλούσια στα δύο στοιχεία. Η υπόθεση ενισχύεται επιπλέον και από την ισχυρή θετική συσχέτιση (r=0,74) των δύο στοιχείων. Η χωρική απεικόνιση του παράγοντα 1 παρουσιάζεται στο σχήμα



Σχήμα 8.59. Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων.



Σχήμα 8.60(α-δ). Χωρική κατανομή των 4 παραγόντων της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων.

8.60α όπου διαπιστώνονται οι υψηλές φορτίσεις του δυτικά του οροπεδίου, στις περιοχές των υπερβασικών με έντονη την παρουσία περιδοτίτη, καθώς περιέχει μεγαλύτερα ποσοστά των δύο μετάλλων.

- Ο δεύτερος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία το Fe (0,76) και το Zn (0,75) και εκφράζει το 21,4% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο παράγοντας υποδηλώνει την ταυτόχρονη παρουσία των δύο μετάλλων στα μητρικά πετρώματα, καθώς ο σίδηρος είτε καλύπτει τις επιφάνειες ορυκτών, είτε απαντάται στις ρωγμές και φλέβες τους (*Μήτσιος* 2004, *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Το συμπέρασμα ενισχύεται από τη χωρική κατανομή του παράγοντα (Σχήμα 8.60β), που εντοπίζει τις πιο υψηλές τιμές του στα κεντρικά και βορειανατολικά της περιοχής έρευνας. Στις περιοχές αυτές εμφανίζονται οι υψηλές τιμές των δεσμευόμενων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφές των δύο στοιχείων (Σχήματα 8.18δ και 8.32δ αντίστοιχα).

Πίνακας 8.5. Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων.

Μεταβλητή	**1**	**2**	**3**	**4**	**Communality**
Fe	0,23	**0,76**	0,32	0,24	0,80
Mn	0,00	0,13	**0,79**	-0,27	0,71
Cu	-0,12	0,32	**0,76**	0,20	0,73
Zn	-0,23	**0,75**	0,20	-0,00	0,66
Pb	-0,18	0,55	-0,50	-0,29	0,68
Ni	**0,89**	-0,35	-0,16	0,04	0,93
Co	-0,02	0,07	-0,04	**0,93**	0,87
Cr	**0,95**	0,13	0,09	-,014	0,93
Διακύμανση	**23,1%**	**21,4%**	**20,4%**	**14,0%**	**78,9%**

- Ο τρίτος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά φορτία το Mn (0,79) και το Cu (0,76) εκφράζοντας το 20,4% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο παράγοντας περιγράφει την παρουσία των δύο μετάλλων στα βασικά πετρώματα της περιοχής μελέτης, καθώς ο Cu συνδέεται με το Mn που συνήθως βρίσκεται στα εδάφη με τη μορφή οξειδίων με τη μορφή περιβλήματος στα εδαφικά σωματίδια και μεμονωμένων συγκριμάτων σε διάφορες διαστάσεις (*McKenzie* 1977, *Bartlett* 1986). Από τη χωρική κατανομή του παράγοντα (Σχήμα 8.60γ) διαπιστώνονται οι ισχυρές φορτίσεις του σε όλο το κεντρικό τμήμα της περιοχής έρευνας, περιοχή όπου εμφανίζονται οι υψηλές τιμές των ολικών συγκεντρώσεων Mn (Σχήμα 8.20) και των δεσμευόμενων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφές Cu (Σχήμα 8.27δ). Στις περιοχές αυτές παρατηρείται εμφάνιση μεταλλοφορίας των δύο μετάλλων σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη-φύλλο Δομοκός (*Μαρίνος κ.ά.* 1957).
- Ο τέταρτος παράγοντας εκφράζει το 14,0% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρό θετικό φορτίο το Co. Ο παράγοντας υποδηλώνει την παρουσία του στοιχείου, που προέρχεται κυρίως από τα μητρικά πετρώματα, σε εδάφη με γεωλογικό υπόβαθρο βασικά και υπερβασικά πετρώματα (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001). Η ομοιότητα της χωρικής διακύμανσης του παράγοντα 4 (Σχήμα 8.60δ) με αυτή των δεσμευόμενων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφών του Co (Σχήμα 8.52δ), ενισχύει την προηγούμενη υπόθεση.

8.7.4 Ανάλυση σε ομάδες (Cluster Analysis)

Η Cluster analysis (CA) (*Ward* 1963) είναι ένα εργαλείο που συντελεί στην οργάνωση των δεδομένων που παρατηρήθηκαν σε σημαντικές ομάδες ή clusters, με βάση συνδυασμούς και η οποία μεγιστοποιεί την ομοιότητα των περιπτώσεων μέσα σε κάθε σύμπλεγμα, μεγαλώνοντας παράλληλα την ανομοιότητα μεταξύ των ομάδων που είναι αρχικά άγνωστη (*Norusis* 2011).

Αυτή η διαδικασία προσπαθεί να εντοπίσει σχετικά ομοιογενείς ομάδες των δεδομένων βάσει επιλεγμένων χαρακτηριστικών, σύμφωνα με έναν αλγόριθμο που ξεκινά με κάθε μεταβλητή σε μία ξεχωριστή συστάδα και συνδυάζει ομάδες έως ότου απομείνει μόνο μία.

Η ομαδοποίηση γίνεται ανάμεσα στις μεταβλητές που έχουν τη μεγαλύτερη ομοιότητα ή την ελάχιστη απόσταση σε μια συστάδα. Η μέτρηση της απόστασης ή της ομοιότητας που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι κατάλληλη για τα στοιχεία που αναλύονται, ενώ θα πρέπει να περιλαμβάνονται όλες οι μεταβλητές προς αποφυγή παραπλανητικών λύσεων. Το αποτέλεσμα είναι ένα δενδρόγραμμα, το οποίο είναι μια οπτική αναπαράσταση των βημάτων στην ιεραρχική ομαδοποίηση, που δείχνει τις ομάδες που είναι συνδεδεμένες και τις τιμές της απόστασης των συντελεστών σε κάθε συστάδα. Οι κάθετες γραμμές που συνδέουν τα στοιχεία ορίζουν τις κοινές ομάδες. Το δενδρόγραμμα επανατοποθετεί τις πραγματικές αποστάσεις σε αριθμούς μεταξύ του 0 έως 25, διατηρώντας την αναλογία των αποστάσεων μεταξύ των σταδίων (*http://publib.boulder.ibm.com*).

Τα βήματα που ακολουθούνται κατά την Cluster Analysis είναι:

1. Επιλογή των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια για το σχηματισμό των ομάδων.
2. Επιλογή της διαδικασίας για τη μέτρηση της απόστασης ή της ομοιότητας μεταξύ κάθε μεταβλητής. Το πρόγραμμα SPSS έχει σαν προεπιλογή για τη μέτρηση αυτή την διαδικασία Squared Euclidean Distance και είναι το άθροισμα των διαφορών των τετραγώνων της κάθε μεταβλητής (ή συστάδας).
3. Σχηματισμός συστάδων.

Η μέθοδος ομαδοποιεί τις μεταβλητές σε προοδευτικά μεγαλύτερες ομάδες μέχρι όλα τα δεδομένα να είναι σε μία μεγάλη συστάδα.

4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Όπως με την Factor Analysis, η ερμηνεία και το πλήθος των ομάδων που θα γίνει αποδεκτό ως τελικό αποτέλεσμα είναι σε μεγάλο βαθμό θέμα του ερευνητή (*Darren and Mallery* 2003).

Η Cluster analysis επιλέχθηκε για τη στατιστική ανάλυση των εδαφικών δεδομένων στην παρούσα διατριβή, καθώς έχει χρησιμοποιηθεί με την ίδια επιτυχία, όπως η factor analysis, σε εργασίες με αντικείμενο, τη γεωχημεία περιβάλλοντος (*Theocharopoulos et al.* 1977, *Golobocanin et al.* 2004, *Tariq et al.* 2009, *Serelis et al.* 2010, *Chabukdhara and Nema* 2013).

Στο πρόγραμμα έγινε εισαγωγή των ίδιων παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στη Factor analysis, καθώς η μέγιστη συσχέτισή τους επαληθεύτηκε από την αξιοπιστία της μεθόδου. Ο συνδυασμός των παρατηρήσεων σε ομάδες πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ιεραρχικής ανάλυσης σε συστάδες (ομάδες), των οποίων ο αριθμός ορίστηκε σε τέσσερις. Από την εφαρμογή της Cluster analysis για τις ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων προκύπτει η ταξινόμηση και το δενδρόγραμμα με τους συνδυασμούς στις οριζόμενες τέσσερις ομάδες (Πίνακας 8.6, Παράρτημα ΙΙ).

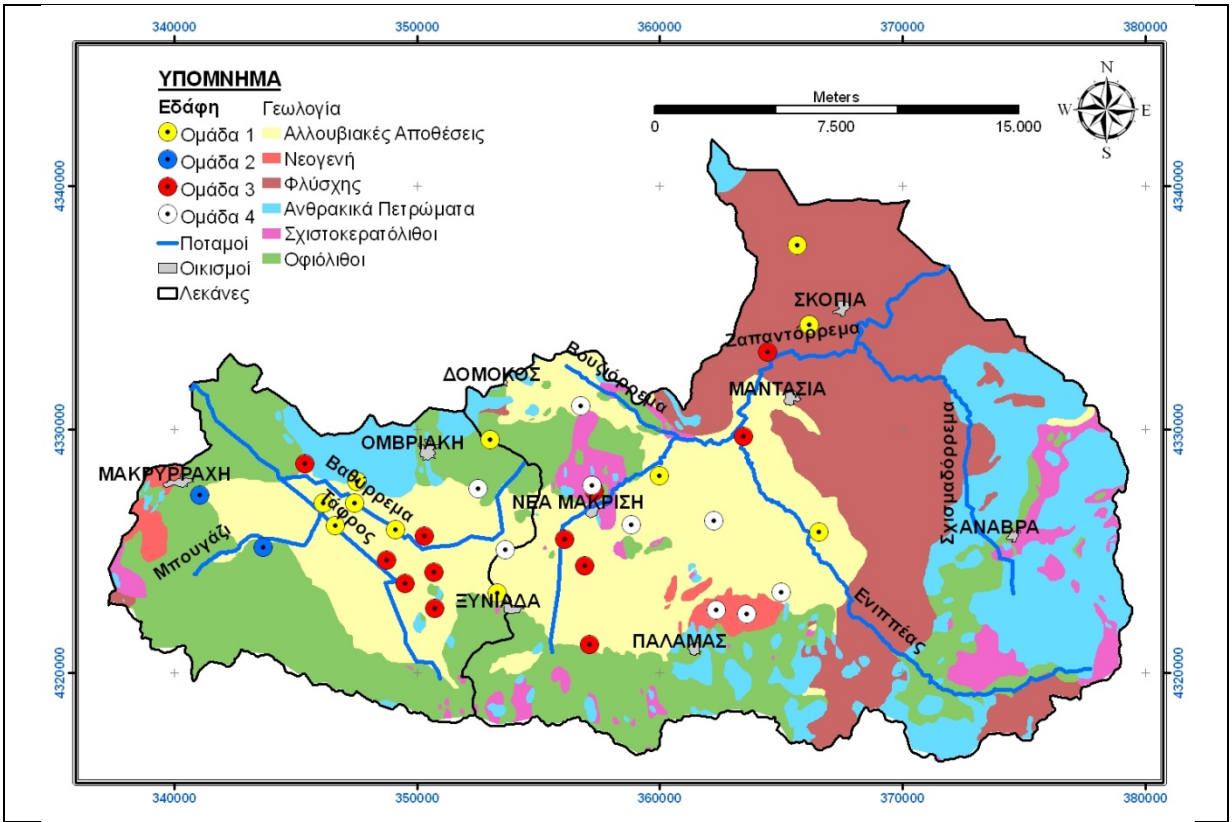
Η μελέτη του δενδρογράμματος δείχνει τη μικρή απόσταση σύνδεσης των Cluster των ομάδων 1 και 3, υποδεικνύοντας την ύπαρξη μιας μεγαλύτερης ομάδας που της συνδέει λόγω της μεταξύ τους συγγένειας. Η ομάδα 1 αντανακλά τη σύνδεση του Cu με το Mn στα βασικά πετρώματα, που απαντάται στο έδαφος κυρίως με τη μορφή οξειδίων. Συγκεντρώνουν μεγάλες ποσότητες ιόντων άλλων μεταλλικών στοιχείων όπως Zn^{2+} και

έχουν ανάλογες διαστάσεις με τα ιόντα Mn^{2+}, Mn^{3+} (*Μήτσιος* 2004). Η ομάδα 3 σχετίζεται με τη σύνδεση των Fe και Zn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών.

Οι ομάδες 2 και 4 δεν εμφανίζουν κάποιου είδους στενής σύνδεσης με κάποια άλλη. Η ομάδα 2 υποδηλώνει την έντονη παρουσία των Ni και Cr στα υπερβασικά πετρώματα των οφιόλιθων της περιοχής, ενώ η ομάδα 4 σχετίζεται με την παρουσία του Co και Pb στα αργιλικά ιζήματα των εδαφών των οποίων το γεωλογικό υπόβαθρο είναι βασικά και υπερβασικά πετρώματα.

Πίνακας 8.6. Ταξινόμηση των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στις τέσσερις ομάδες.

Δείγμα	Αριθμός Ομάδας	Δείγμα	Αριθμός Ομάδας	Δείγμα	Αριθμός Ομάδας
1	1	13	1	25	4
2	2	14	1	26	1
3	3	15	1	27	3
4	4	16	1	28	4
5	1	17	4	29	3
6	2	18	4	30	3
7	3	19	4	31	4
8	3	20	3	32	3
9	3	21	1	33	1
10	3	22	3	34	4
11	3	23	1		
12	1	24	4		



Σχήμα 8.61. Χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων.

Η χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες με την αντιστοίχιση σε κάθε θέση δειγματοληψίας του αριθμού της συστάδας παρουσιάζεται στο σχήμα 8.61. Διαπιστώνεται η εμφάνιση της ομάδας 2 δυτικά της περιοχής έρευνας, όπου κυριαρχούν τα υπερβασικά πετρώματα, και η μικρή γεωγραφική απόσταση μεταξύ των ομάδων 1 και 3, αντανακλώντας την αντίστοιχη σύνδεση των Cluster και την ύπαρξη της μεγαλύτερης ομάδας που τις συνδέει. Εξάλλου, είναι γνωστό ότι το Mn συνδέεται με το Fe στις γεωχημικές διεργασίες με τον κύκλο του να ακολουθεί αυτόν του σιδήρου στα γεωχημικά περιβάλλοντα (*Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007).

Συμπερασματικά καταλήγοντας, οι υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην περιοχή έρευνας αποδίδονται κατά κύριο λόγο σε γεωγενείς αιτίες. Στη διαπίστωση οδηγεί η μεγάλη ποσοστιαία συμμετοχή των δεσμευμένων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφή μετάλλων επί των ολικών με 98,14%. Το φαινόμενο συνδέεται με την έντονη παρουσία οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου στα καστανοκόκκινα εδάφη της περιοχής και την ισχυρή ύπαρξη των οφιολιθικών πετρωμάτων. Η παρουσία τους εξηγεί και τη γεωγενούς προελεύσεως επιβάρυνση των εδαφών σε Co, Ni και Cu.

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η εφαρμογή αγροχημικών δρουν αθροιστικά και σε μικρό βαθμό (<0,01%) στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα εδάφη. Το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τη μικρή ποσοστιαία συμμετοχή των βιοδιαθέσιμων κλασμάτων υδατοδιαλυτών (0,01%) και ανταλλάξιμων (0,04%) των μεταλλικών ιχνοστοιχείων επί των ολικών και ενισχύεται ακόμη περισσότερο από τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων. Προσδιορίζεται η σύνδεση Cu με το Mn στα βασικά πετρώματα, η ταυτόχρονη παρουσία Fe και Zn στα μητρικά πετρώματα και η συνεισφορά των οφιολιθικών πετρωμάτων, που αφθονούν στο γεωλογικό υπόβαθρο, στη σύσταση των εδαφών.

9. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

9.1 Γενικά

Το υπόγειο υδάτινο περιβάλλον είναι συνδεδεμένο με τη στερεή φάση του περιβάλλοντος (εδάφη, πετρώματα), στην οποία περιέχεται και παίζει σημαντικό ρόλο ως κύρια πηγή του νερού για σκοπούς ύδρευσης και άρδευσης. Έτσι η ποιότητά του είναι εξίσου σημαντική με την ποσότητα του. Επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από γεωγενείς διεργασίες και μπορεί να ρυπανθεί από μια ποικιλία ρύπων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες παραγόμενες από διαφορετικές πηγές (γεωργικές, βιομηχανικές και αστικές). Οι παράγοντες αυτοί, καθώς και οι ανάγκες σε νερό που συνεχώς αυξάνονται τα τελευταία χρόνια, αποτελούν δυο βασικούς λόγους που επιβάλλουν τη συστηματική διερεύνηση της ποιοτικής σύστασης των υδάτων.

Η έρευνα της χημικής σύστασης του νερού μας επιτρέπει να έχουμε μια συμπληρωματική εικόνα για την προέλευση, τη ροή και τους μηχανισμούς τροφοδοσίας ενός υδάτινου σώματος. Επιπλέον μας επιτρέπει να διαχωρίσουμε περιοχές και υδροφόρα συστήματα με διαφορετική ποιότητα νερού και να προσδιορίσουμε τη δυνατότητα διάθεσής του για διάφορες χρήσεις στη βιομηχανία, την άρδευση ή την ύδρευση.

Με βάση τους συλλογισμούς αυτούς, το αντικείμενο των υδροχημικών αναλύσεων στην παρούσα διατριβή, είναι:

- Η εκτίμηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υπόγειων και επιφανειακών νερών της περιοχής του οροπεδίου Δομοκού.
- Η διερεύνηση των αιτιών και του βαθμού επιβάρυνσής τους από φυσικές και ανθρωπογενείς επιδράσεις.
- Να διαπιστωθεί το ανθρωπογενές φορτίο επιβάρυνσης των επιφανειακών νερών στην έξοδο των λεκανών και να συγκριθεί με εκείνα άλλων ποταμών της Ελλάδας.
- Η σύγκριση των τιμών συγκέντρωσης των χημικών στοιχείων υπόγειων και επιφανειακών νερών με τα πρότυπα ποιότητας, όπως αυτά διατυπώθηκαν με την οδηγία (98/83, 1998) του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου, ώστε να διαπιστωθεί η καταλληλότητα τους για ανθρώπινη κατανάλωση και για αρδευτικές ανάγκες.

9.2 Μεθοδολογία

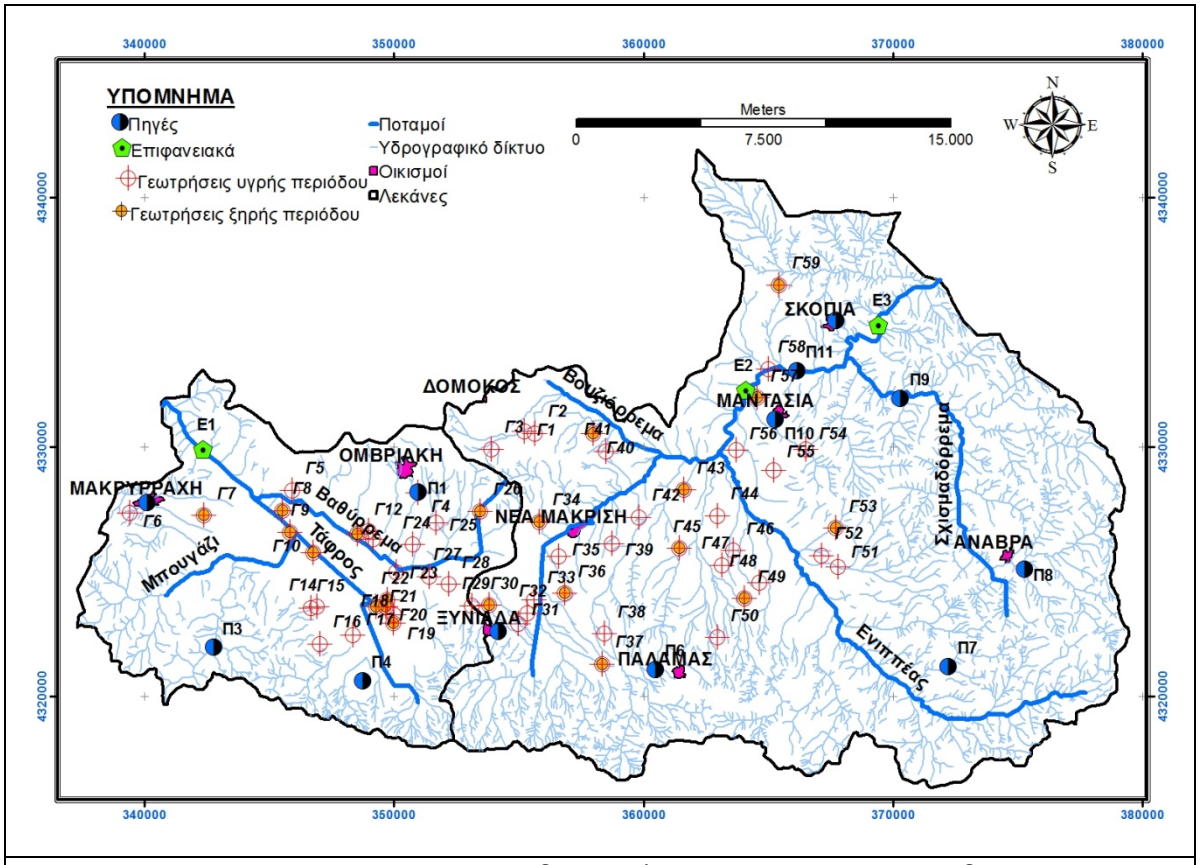
9.2.1 Δειγματοληψία

Στα πλαίσια της υδροχημικής έρευνας μελετήθηκαν τα αποτελέσματα δειγματοληψίας 128 συνολικά δειγμάτων που πραγματοποιήθηκε:

1) Σε 12 πηγές αντιπροσωπευτικές της ποιοτικής πληροφορίας για το φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα, που πραγματοποιήθηκε το Μάρτιο του 2010.
2) Σε 80 σημεία υπόγειων υδάτων εκ των οποίων: α) 59 γεωτρήσεις, για τις οποίες η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το Μάρτιο του 2010, στο τέλος της υγρής περιόδου-αρχή της εαρινής καλλιέργειας για την περιοχή έρευνας και β) 21 γεωτρήσεις επαναληπτικές ενός αριθμού των προηγουμένων στο τέλος της ξηρής περιόδου (Σεπτέμβριος του 2010). Ο σκοπός αυτής της δειγματοληψίας ήταν να συγκριθεί η ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών πριν και μετά την καλλιεργητική περίοδο, και να διαπιστωθεί ο βαθμός επιβάρυνσης των από τις γεωργικές πρακτικές. Το σύνολο των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς. Εξαίρεση αποτελούν οι Γ1, Γ2, Γ3, Γ6 και Γ50 που χρησιμοποιούνται μόνο για ύδρευση και οι Γ4, Γ5, Γ16 και Γ46 οι οποίες έχουν διττή λειτουργία και χρησιμοποιούνται και για υδρευτικούς και για αρδευτικούς σκοπούς.
3) Σε τρία σημεία επιφανειακού ύδατος με συνολικό αριθμό 36 δειγμάτων. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε μηνιαία βάση από τον Απρίλιο του 2010 έως το Μάρτιο του 2011 στην αποστραγγιστική τάφρο στην έξοδο της λεκάνης Ξυνιάδας (Ε1) και σε δύο σημεία στη λεκάνη Σκοπιάς. Το πρώτο (Ε2) στη γέφυρα

της Μαντασιάς στον Ενιππέα, ανάντη του κόμβου συμβολής του ποταμού με το Σχισμαδόρεμα, και το δεύτερο (Ε3) κατάντη αυτής στη Σκοπιά στην έξοδο της λεκάνης.

Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των σημείων υδροληψίας καταγράφηκαν (ΕΓΣΑ 87) με το GPS Dakota 20 της Garmin (Παράρτημα ΙΙ). Η επιλογή τους έγινε με σκοπό να γίνει αντιπροσωπευτική δειγματοληψία από όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς και να υπάρχει ικανοποιητική χωρική κάλυψη της περιοχής με τη δημιουργία ικανοποιητικού κανάβου δειγματοληψίας (Σχήμα 9.1).



Σχήμα 9.1. Χωρική κατανομή των σημείων δειγματοληψίας, πηγών, υπόγειων υδάτων υγρής και ξηρής περιόδου και επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας.

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με βάση τα διεθνή πρότυπα, κάτω από αίθριες συνθήκες, ενώ αυτή των γεωτρήσεων έγινε αφότου είχε προηγηθεί άντληση τουλάχιστον μιας ώρας, έτσι ώστε να είχε γίνει ανανέωση του νερού (*Appelo and Postma* 1996). Οι φιάλες πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ξεπλυθεί καλά πριν τη λήψη του δείγματος με το ίδιο προς ανάλυση νερό της δειγματοληψίας.

Τα δείγματα σε κάθε σημείο δειγματοληψίας αποθηκεύτηκαν σε 2 φιάλες και φυλάσσονταν σε ψυγείο στους 4^0C μέχρι την ανάλυσή τους. Η πρώτη φιάλη όγκου 1 lt χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των κύριων στοιχείων και περιείχε δείγμα στο οποίο δεν εφαρμόστηκε καμία περαιτέρω επεξεργασία. Η δεύτερη φιάλη, όγκου 100 ml, περιείχε δείγμα που διηθήθηκε και οξυνίστηκε με 1,0 ml HNO_3 ώστε το pH να γίνει μικρότερο του 2. Η οξύνιση διακόπτει την ανάπτυξη των βακτηρίων, αποτρέπει τις οξειδωτικές αντιδράσεις και προλαμβάνει την προσρόφηση ή καθίζηση των κατιόντων. Το δείγμα χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των βαρέων μεταλλικών ιχνοστοιχείων (*Lloyd and Heathcote* 1985, *Appelo and Postma* 1996, *APHA* 1998, *Καλλέργης* 2000).

9.2.2 Επιτόπιες μετρήσεις - Εργαστηριακές αναλύσεις

Κατά τη συλλογή των δειγμάτων μετρήθηκαν η θερμοκρασία αέρα σε ^{o}C και οι ασταθείς φυσικοχημικοί παράμετροι του νερού, όπως η θερμοκρασία του νερού Tw σε ^{o}C, η ηλεκτρική αγωγιμότητα E.C. σε μS/cm, το pH, το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) σε mvolt και το διαλυμένο O_2 (D.O.) σε mg/lt καθώς και τα (%) επίπεδα κορεσμού του. Στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας–Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών πραγματοποιήθηκαν οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων με χρήση των αντίστοιχων μεθόδων και προσδιορίσθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι (Πίνακας 9.1):

- Ποσοτικός προσδιορισμός του CO_2, της ολικής σκληρότητας, της παροδικής σκληρότητας (οξυανθρακικών ιόντων), των ιόντων Ca^{2+} και των ιόντων Cl^{-} με τιτλοδότηση. Η ποσοτική ανίχνευση του CO_2 πραγματοποιήθηκε με τιτλοδότηση με Sodium Hydroxide Standard Solution, της ολικής σκληρότητας και των ιόντων Ca^{2+} με τιτλοδότηση με EDTA 0,02 N, ενώ για την ανθρακική σκληρότητα χρησιμοποιήθηκε HCl 0,01N και για τα χλωριόντα $AgNO_3$.
- Τα στοιχεία κάλιο K^{+} και νάτριο Na^{+} προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου Microprocessor Flame Photometer 1382.
- Τα θειικά SO_4^{2-}, τα νιτρικά NO_3^{-}, τα φωσφορικά PO_4^{3-}, τα αμμωνιακά NH_4^{+}, το Br^{-}, το I^{-}, το F^{-}, καθώς και τα οξείδια του πυριτίου SiO_2 (μόνο για την ξηρή περίοδο) προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000.
- Τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Co και Cr, ανιχνεύτηκαν, με τη βοήθεια του οργάνου της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου επιλέχθηκε η μέτρηση κάθε δείγματος στα 10sec με 3 επαναλήψεις (συνολικά 30 sec). Το εύρος λειτουργίας του οργάνου κι η ευαισθησία του, ανάλογα με το μετρούμενο στοιχείο, παρατίθενται στο κεφάλαιο της εδαφοχημείας (Πίνακας 8.2).

9.2.3 Επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Η πρωτογενής επεξεργασία των αποτελεσμάτων, όπως και τα περιγραφικά στατιστικά πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του Excel 2007 (Microsoft Office). Επιπλέον, η ακρίβεια των χημικών αναλύσεων λόγω πιθανής απόκλισης της αναλυτικής διαδικασίας ελέγχθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Aquachem (v. 3.7.42) (*Calmbach* 1997) για κάθε δείγμα, με το ιοντικό ισοζύγιο κατιόντων–ανιόντων με βάση τον τύπο (*Λαμπράκης* 1999, *Βουδούρης* 2009):

$$\text{Σφάλμα Ισοζυγίου} = \frac{\text{άθροισμα κατιόντων (meq/l)} - \text{άθροισμα ανιόντων (meq/l)}}{\text{άθροισμα κατιόντων (meq/l)} + \text{άθροισμα ανιόντων (meq/l)}} * 100$$

Από το σύνολο των δειγμάτων μόνο 3 δείγματα είχαν ισοζύγιο λίγο μεγαλύτερο του 5%, που σε καμία περίπτωση δεν ξεπέρασε το 5,2%. Στην πλειοψηφία των δειγμάτων το αποτέλεσμα της παραπάνω εξίσωσης ήταν μικρότερο του 5% και συνεπώς τα αποτελέσματα θεωρούνται αποδεκτά, και τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 9.2.

Η απεικόνιση της χωρικής κατανομής των στοιχείων στο χώρο (ισοπεριεκτικές καμπύλες) πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή Geostatistical Analyst του προγράμματος ArcGIS 9.3 & 10.0, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους παρεμβολής των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (IDW) και Kriging με τις παραλλαγές της Ordinary και Simple. Η ντετερμινιστική μέθοδος ακριβούς παρεμβολής IDW (Inverse distance weighted) χρησιμοποιεί διάφορες μαθηματικές συναρτήσεις για να προσαρμόσει την επιφάνεια σε ένα σύνολο μετρημένων τιμών και σε συγκεκριμένες γεωγραφικές συντεταγμένες. Έτσι, με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός ο υπολογισμός της μεταβλητής σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου (*Μαμάσης* 2006). Ο υπολογισμός της μέγιστης δύναμης που χρησιμοποιήθηκε στην εξίσωση υπολογισμού της μεθόδου, καθώς και των γειτονικών σημείων που ελήφθησαν υπόψη κατά την διαδικασία της παρεμβολής, για κάθε στοιχείο, υπολογίστηκε από την εφαρμογή Geostatistical Analyst του ArcGIS (*Philip and Watson* 1982, *Watson and Philip* 1985).

Η γεωστατιστική μέθοδος Kriging είναι μια στοχαστική μέθοδος βέλτιστης χωρικής παρεμβολής με την οποία επιτυγχάνεται αμερόληπτη και βέλτιστη εκτίμηση των μεταβλητών ενός μεγέθους σε θέσεις που δεν έχουν προσδιοριστεί πειραματικά, χρησιμοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες τιμές του ίδιου μεγέθους. Βασίζεται στην υπόθεση, ότι η διακύμανση μίας μεταβλητής στο χώρο είναι τυχαία, οπότε χρησιμοποιεί στατιστικές μεθοδολογίες για οποιαδήποτε εκτίμηση απορρέει από σημειακές μετρήσεις της μεταβλητής. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός, ότι ποσοτικοποιεί και ελαχιστοποιεί το σφάλμα εκτίμησης στα σημεία που δεν υπάρχουν μετρήσεις, πράγμα που δεν συμβαίνει με τις άλλες μεθόδους παρεμβολής. Οι παραλλαγές Ordinary και Simple Kriging είναι οι πλέον διαδεδομένες μορφές και έχουν τις παραδοχές: α) η μεταβλητή ακολουθεί κανονική κατανομή, β) η εκτίμηση είναι αμερόληπτη, γ) μονιμότητα δεύτερου βαθμού, (δ1) ο τοπικός μέσος είναι γνωστός (simple) και (δ2) ο τοπικός μέσος είναι άγνωστος (ordinary) (*Μαμάσης και Κουτσογιάννης* 1999).

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το διάγραμμα Piper προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος Aquachem (v. 3.7.42) (*Calmbach* 1997) λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των ανιόντων Cl^-, HCO_3^- και SO_4^{2-} και κατιόντων Ca^{2+}, Na^+ και Mg^{2+} σε meq/l. Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το διάγραμμα Durov προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος CH45.EXE και του Grapher 2.0 λαμβάνοντας υπόψη την θερμοκρασία, το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και τα στοιχεία Mg, Ca, Na, K, HCO_3, Cl, SO_4 NO_3, CO_3, CO_2 και H_2S (*Lambrakis* 1991). Οι δείκτες κορεσμού στα διάφορα ορυκτά και η υδρογεωχημική προσομοίωση προέκυψαν με το πρόγραμμα Hydrowin (v. 3.0) (*Calmbach* 1995).

Πίνακας 9.1. Μέθοδοι μετρήσεων και αναλύσεων των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των δειγμάτων νερού. (*Γερμανικός βαθμός σκληρότητας)

Παράμετρος	**Μονάδα μέτρησης**	**Εφαρμοζόμενη μέθοδος μέτρησης**
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		
Θερμοκρασία νερού	°C	Φορητό θερμόμετρο
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	μS/cm	Φορητό αγωγιμόμετρο, Mod. LF330/SET, WTW
pH	-	Φορητό pH-μετρο, Mod. pH 330i/SET, WTW
Eh	mVolt	Φορητό pH-μετρο, Mod. pH 330i/SET, WTW
ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΑΕΡΙΩΝ		
O_2	mg/l & (%)	Φορητό οξυγονόμετρο, Mod. OXI 96, WTW
CO_2	mg/l	Τιτλοδότηση με 0,0227 N Sodium Hydroxide Standard Solution παρουσία δείκτη Φαινοφθαλείνης
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		
α. ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ		
Ολική σκληρότητα (ΟΣ)	°dH*	Τιτλοδότηση με 0,02 N EDTA Hardness 1 & 2

Παροδική σκληρότητα (ΠΣ)	°dH	Τιτλοδότηση με 0,01 N HCl παρουσία δείκτη Ηλιανθίνης
Μόνιμη σκληρότητα (ΜΣ)	°dH	Υπολογιστικά ΜΣ=ΟΣ-ΠΣ
β. ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		
Κατιόντα	**Εφαρμοζόμενη Μέθοδος**	**Όργανο μέτρησης**
Ca	Τιτλοδότηση με 0,02 N EDTA Calver & Potassium Hydroxide Solution	-
Mg	-	Υπολογιστικά
K	AES	Microprocessor Flame Photometer MOD. - 1382, Intech
Na	AES	Microprocessor Flame Photometer MOD. - 1382, Intech
Ανιόντα	**Εφαρμοζόμενη Μέθοδος**	**Όργανο μέτρησης**
HCO_3^-	Τιτλοδότηση με 0,01 N HCl παρουσία δείκτη Ηλιανθίνης	-
Cl^-	Τιτλοδότηση με 0,01 N $AgNO_3$ παρουσία δείκτη $K_2Cr_2O_7$	-
SO_4^{2-}	Φασματοφωτομετρικά sulfaver 4 Method 8051 HACK	Hack DR 3000
NO_3^-	Φασματοφωτομετρικά Calsium Reduction Method 8039 HACK	Hack DR 3000
γ. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		
Ενώσεις	**Εφαρμοζόμενη Μέθοδος**	**Όργανο μέτρησης**
NH_4^+	Φασματοφωτομετρικά Nessler Method 8038 HACK	Hack DR 3000
PO_4^{3-}	Φασματοφωτομετρικά Phosver 3 Method 8048 HACK	Hack DR 3000
Br^-	Φασματοφωτομετρικά DPD Method 8016 HACK	Hack DR 3000
I^-	Φασματοφωτομετρικά DPD Method 8031 HACK	Hack DR 3000
F_2^-	Φασματοφωτομετρικά SPADNS Method 8029 HACK	Hack DR 3000
SiO_2	Φασματοφωτομετρικά Silicomolybdate Method 8185 HACK	Hack DR 3000

9.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

9.3.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

9.3.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού συμβάλλει στην ποιότητά του και αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγησή του. Η χαμηλή θερμοκρασία του νερού αυξάνει την διαλυτότητα του οξυγόνου, ενώ αντίθετα με την αύξηση της θερμοκρασίας του ευνοείται η διαδικασία διάσπασης οργανικών ουσιών. Επιπλέον αυξάνει η διαλυτότητά του με αποτέλεσμα τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αλάτων, και έτσι το νερό είναι λιγότερο εύγευστο γιατί εκδιώκονται τα διαλυμένα σ' αυτό αέρια. Επίσης, όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 15^{o}C πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια κι ευνοείται η ανάπτυξη αλγών με άμεση συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων (*Παππά* 2001). Για τα πόσιμα νερά, σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. (*EU Council directive 98/83* 1998), η ενδεικτική τιμή θερμοκρασίας κυμαίνεται στους 12^{o}C, ενώ σαν μέγιστο επιτρεπόμενο όριο τίθεται η τιμή των 25^{o}C.

Η διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας στα δείγματα υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας διαφοροποιείται ανάλογα με το γεωλογικό σχηματισμό που τα φιλοξενεί και το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα. Οι τιμές κυμαίνονται από 11,4^{o}C μέχρι 23,2^{o}C, με τις χαμηλότερες τιμές να παρατηρούνται στις πηγές και τις υψηλότερες (>21,0^{o}C) σε γεωτρήσεις στη λεκάνη Ξυνιάδας.

Αναλυτικά οι τιμές της θερμοκρασίας των δειγμάτων νερού κυμαίνονται:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 14,5^{o}C έως 23,2^{o}C με μέση τιμή 17,2^{o}C. Οι αντίστοιχες τιμές της ξηρής περιόδου έχουν διακύμανση από 13,7^{o}C έως 23,3^{o}C με μέση τιμή 18,5^{o}C.
- Στα νεογενή ιζήματα η διακύμανση είναι από 15,7^{o}C έως 16,3^{o}C με μέση τιμή 16,0^{o}C.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή είναι 13,9^{o}C και 16,5^{o}C αντίστοιχα με μέση τιμή 15,5^{o}C και για την ξηρή περίοδο έχουν διακύμανση από 16,0^{o}C έως 16,7^{o}C με μέση τιμή 16,4^{o}C.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο έχουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή 11,4^{o}C και 18,2^{o}C αντίστοιχα και μέση τιμή 15,0. Το δείγμα ξηρής περιόδου από τους ανθρακικούς σχηματισμούς είχε τιμή 18,4^{o}C.
- Στους οφιόλιθους για τη υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 14,9^{o}C έως 18,0^{o}C και μέση τιμή 16,4^{o}C. Τα δείγματα της ξηρής περιόδου έχουν διακύμανση από 17,2^{o}C έως 18,0^{o}C με μέση τιμή 17,6^{o}C.

Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες (11,4-13,5^{o}C) παρατηρούνται σε αυτά των πηγών των ανθρακικών σχηματισμών στο νοτιανατολικό τμήμα της λεκάνης, λόγω της τροφοδότησης των υδροφόρων τους με κατεισδύοντα νερά χαμηλών θερμοκρασιών από τους ορεινούς όγκους της Όθρυος . Η επικρατούσα κλάση και για τις δύο περιόδους είναι 16-18^{o}C, ενώ δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των ίδιων γεωτρήσεων υγρής και ξηρής περιόδου αφού οι θερμοκρασίες του υπόγειου νερού μεταβάλλονται λιγότερο από ότι των επιφανειακών *(Drake et al*. 2010) (Σχήμα 9.2).

Στα σχήματα 9.3 και 9.4 παρουσιάζεται με τη μορφή ισόθερμων καμπυλών η χωρική κατανομή των τιμών θερμοκρασίας για την υγρή και την ξηρή περίοδο αντίστοιχα. Διακρίνονται και για τις δύο περιόδους δύο κέντρα χωρικής διαφοροποίησης της θερμοκρασίας των νερών. Ένα χαμηλών θερμοκρασιών (13,7-15,2^{o}C), στο κέντρο της λεκάνης Σκοπιάς λόγω πιθανά της τροφοδοσίας τους μέσο πλευρικών διηθήσεων από τις καρστικές μάζες της Όθρυος και ένα υψηλών θερμοκρασιών (20,2-23,2^{o}C) στο κέντρο της πρώην λίμνης Ξυνιάδας.

Η χωρική διαφοροποίηση της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών συχνά συνδέεται με τα διαφορετικά βάθη των γεωτρήσεων, καθώς αυτές με μικρό βάθος επηρεάζονται από τις

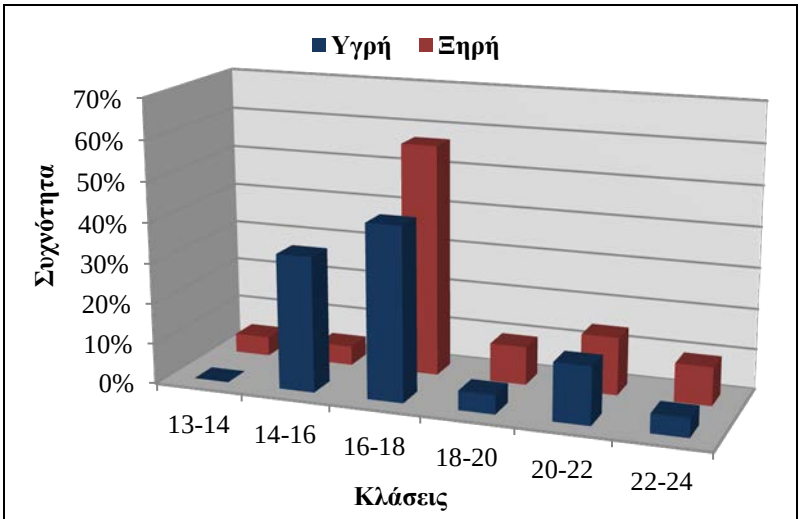
Πίνακας 9.2. Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού των πηγών (Π), γεωτρήσεων υγρής Γ(α) και ξηρής Γ(β) περιόδου από τα Τεταρτογενή και Νεογενή ιζήματα της περιοχής δειγματοληψίας.

Δείγμα	Θερ/σία T °C	EC μS/cm	Eh (mvolt)	pH	O_2 (mg/l)	O_2 (%)	CO_2 (mg/l)	Σκληρότητα (°dH)			KATIONTA (mg/l)				ANIONTA (mg/l)				PO_4 (mg/l)	NH_4 (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	F (mg/l)	Br (mg/l)	I_2 (mg/l)	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)									TDS (mg/l)
								Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3							Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	Co	
Α) Δείγματα νερών από Τεταρτογενή Ιζήματα-Υγρή περίοδος																																	
Γ9(α)	19,8	425	271,1	8,1	6,3	84	74	13,8	15,1	0,0	29,6	42,1	16,9	0,1	329,4	14,2	0,4	8,8	0,60	0,06	-	0,05	0,01	0,07	0,13	0,005	<0,001	0,003	<0,001	0,189	<0,001	<0,001	<0,001	442,5
Γ10(α)	21,4	356	257,5	8,1	6,5	83	41	10,3	11,5	0,0	24,8	29,8	31,0	0,1	250,1	10,6	2,1	7,9	0,55	0,30	-	0,01	0,01	0,02	0,231	<0,001	<0,001	0,024	<0,001	0,021	<0,001	0,009	<0,001	357,5
Γ13(α)	18,5	552	284,2	7,7	6,6	83	77	16,3	17,4	0,0	76,0	24,6	35,2	0,2	378,2	17,7	14,6	23,8	0,62	0,44	-	0,13	0,01	0,04	0,207	0,001	<0,001	0,222	0,076	0,143	<0,001	<0,001	<0,001	572,0
Γ17(α)	18,7	455	257,3	8,1	6,5	84	35	11,0	11,8	0,0	36,0	26,0	28,2	0,1	256,2	10,6	19,5	7,5	0,69	0,09	-	0,08	0,07	0,13	0,177	0,076	<0,001	0,022	0,081	0,246	<0,001	0,0015	<0,001	385,5
Γ18(α)	16,5	1.410	235,6	7,6	5,3	62	133	43,0	23,2	19,8	129,6	108,2	63,6	0,1	506,3	21,3	420,0	21,6	0,53	0,70	-	0,42	0,14	0,55	0,214	0,073	<0,001	0,252	0,008	0,101	0,002	0,0035	<0,001	1.273,0
Γ19(α)	16,5	630	228,9	7,9	5,6	64	52	19,0	16,5	2,5	54,4	49,4	51,3	0,1	359,9	14,2	61,0	39,2	0,54	0,01	-	0,16	0,26	0,39	0,175	0,205	<0,001	0,002	0,035	0,057	<0,001	0,03	<0,001	631,0
Γ20(α)	21,9	400	228,2	7,9	6,0	71	36	11,5	11,8	0,0	36,0	27,9	18,7	3,8	256,2	10,6	21,1	6,6	0,44	0,13	-	0,07	0,09	0,35	0,157	0,012	<0,001	0,002	0,081	0,034	<0,001	0,027	<0,001	382,5
Γ21(α)	23,2	376	182,8	7,8	6,1	85	45	10,7	11,8	0,0	32,0	26,9	16,1	0,5	256,2	10,6	2,8	8,8	0,44	0,01	-	0,12	0,03	0,23	0,168	0,034	<0,001	<0,001	0,061	0,099	<0,001	0,009	<0,001	355,5
Γ22(α)	21,7	346	222,5	7,8	3,6	40	33	9,6	10,9	0,0	32,8	21,6	19,3	0,1	237,9	10,6	3,6	7,9	0,30	0,03	-	0,02	0,12	0,32	0,141	0,001	<0,001	<0,001	0,017	0,047	0,003	0,029	<0,001	335,0
Γ23(α)	18,4	902	202,1	7,9	6,1	82	91	18,7	28,6	0,0	52,8	49,0	148,8	0,1	622,2	53,2	21,5	7,0	0,77	0,32	-	0,25	0,06	0,16	0,142	0,695	<0,001	0,002	<0,001	0,2	<0,001	0,021	<0,001	956,5
Γ24(α)	16,5	782	272,2	7,7	6,5	78	81	26,9	19,9	7,0	98,4	56,9	34,3	0,1	433,1	24,8	105,0	49,3	0,56	0,18	-	0,17	0,01	0,16	0,147	<0,001	<0,001	0,004	0,036	0,111	<0,001	0,02	<0,001	803,5
Γ25(α)	15,5	559	190,7	7,4	6,6	93	84	19,6	14,0	5,6	81,6	35,3	15,3	0,2	305,0	21,3	27,0	47,2	0,69	0,19	-	0,06	0,40	0,45	0,301	0,028	<0,001	0,012	0,036	0,083	0,063	0,011	<0,001	535,0
Γ27(α)	15,6	1.160	230,0	7,5	2,9	33	176	36,0	33,9	2,1	93,6	99,4	93,6	0,8	738,1	35,5	108,3	8,8	0,51	0,50	-	0,35	0,28	0,27	0,134	1,05	<0,001	0,006	0,053	0,03	<0,001	0,027	<0,001	1.180,0
Γ28(α)	17,3	537	220,1	8,1	7,4	89	34	12,0	14,6	0,0	50,4	21,6	62,9	0,1	317,2	63,8	4,5	4,4	0,77	0,19	-	0,24	0,21	0,46	0,153	0,524	<0,001	<0,001	0,056	0,19	0,001	0,038	<0,001	527,0
Γ29(α)	19,0	227	173,6	9,7	5,0	60	0	2,2	6,4	0,0	4,8	6,8	58,0	0,1	140,3	14,2	12,1	7,6	0,46	0,00	-	0,25	0,25	0,38	0,152	0,013	<0,001	<0,001	<0,001	0,098	0,001	0,028	<0,001	245,5
Γ30(α)	15,9	669	225,0	7,6	3,9	39	66	23,3	19,0	4,2	100,0	40,3	27,9	0,1	414,8	18,1	38,5	29,0	0,48	0,10	-	0,00	0,15	0,23	0,118	0,033	<0,001	0,006	0,081	0,088	<0,001	0,02	<0,001	670,0
Γ31(α)	15,3	629	234,1	7,8	6,5	75	56	22,4	17,9	4,4	101,6	35,4	23,3	0,1	390,4	17,7	41,3	30,8	0,54	0,05	-	0,23	0,11	0,32	0,137	0,002	<0,001	0,005	0,049	0,045	<0,001	0,04	<0,001	642,0
Γ32(α)	16,7	493	237,6	7,7	8,4	104	103	15,7	15,4	0,3	72,8	24,1	25,0	1,6	335,5	14,2	23,1	18,9	0,29	0,00	-	0,17	0,11	0,40	0,139	<0,001	<0,001	0,006	0,072	0,101	<0,001	0,019	<0,001	516,5
Γ33(α)	16,3	438	231,3	7,7	5,8	77	51	13,3	14,8	0,0	58,4	22,1	33,7	0,1	323,3	14,2	7,5	11,9	0,60	0,00	-	0,06	0,17	0,25	0,126	0,013	<0,001	<0,001	0,003	0,289	<0,001	0,003	<0,001	472,5
Γ34(α)	16,2	684	280,1	7,9	6,8	75	111	24,7	21,6	3,2	53,6	74,8	20,5	0,2	469,7	17,7	31,7	41,8	0,75	0,45	-	0,22	0,02	0,04	0,123	0,01	<0,001	0,007	0,119	0,201	<0,001	0,007	<0,001	712,0
Γ35(α)	15,8	875	281,5	7,7	6,3	82	131	26,4	19,6	6,8	112,8	46,1	49,8	0,1	427,0	67,4	53,5	36,1	0,59	0,14	-	0,21	0,03	0,04	0,089	0,005	<0,001	0,006	0,059	0,175	<0,001	0,011	<0,001	794,0
Γ36(α)	15,9	523	273,7	8,2	6,7	80	79	17,5	16,2	1,3	84,0	25,1	21,0	0,2	353,8	35,5	5,5	15,4	0,59	0,03	-	0,12	0,03	0,09	0,139	0,027	<0,001	0,04	0,07	0,068	<0,001	0,012	<0,001	541,5
Γ37(α)	16,6	851	236,2	7,4	7,5	98	125	27,4	16,8	10,6	105,6	54,9	18,3	0,1	366,0	95,7	73,5	43,1	0,62	0,26	-	0,43	0,00	0,00	0,075	0,013	<0,001	0,236	0,042	0,16	<0,001	0,004	<0,001	758,5
Γ38(α)	15,3	465	237,6	7,5	6,7	86	67	16,4	15,7	0,7	76,8	24,6	18,3	0,6	341,6	17,7	6,3	21,6	0,48	0,08	-	0,12	0,00	0,00	0,111	0,005	<0,001	0,053	0,06	0,036	<0,001	0,015	<0,001	508,5
Γ39(α)	18,5	792	280,4	7,6	5,4	68	78	21,8	16,8	5,0	84,0	43,6	54,2	0,1	366,0	53,2	71,2	43,1	0,58	0,30	-	0,11	0,02	0,06	0,077	0,011	<0,001	0,073	<0,001	0,176	<0,001	0,009	<0,001	717,0
Γ40(α)	16,9	814	275,8	8,0	6,4	79	109	23,1	19,6	3,5	60,0	64,1	59,3	0,1	427,0	63,8	69,2	37,0	0,58	0,31	-	0,44	0,01	0,03	0,162	0,015	<0,001	0,008	0,121	0,205	<0,001	0,01	<0,001	782,0
Γ42(α)	15,7	600	280,3	7,6	6,3	82	91	21,6	18,2	3,4	105,6	29,5	18,4	0,2	396,5	35,5	26,7	30,4	0,55	0,09	-	0,07	0,04	0,06	0,136	0,008	<0,001	0,002	0,048	0,14	<0,001	<0,001	<0,001	644,0
Γ43(α)	15,6	890	240,6	7,3	6,9	91	108	28,7	19,0	9,6	152,8	31,6	40,1	0,5	414,8	74,5	70,3	82,3	0,45	0,21	-	0,21	0,03	0,04	0,138	0,003	<0,001	0,005	<0,001	0,111	<0,001	<0,001	<0,001	868,0
Γ44(α)	16,3	530	243,8	7,5	7,1	93	105	18,2	16,5	1,7	98,4	19,2	18,1	2,0	359,9	21,3	1,6	27,7	0,51	0,04	-	0,04	0,03	0,03	0,138	0,007	<0,001	0,093	0,008	0,141	<0,001	<0,001	<0,001	549,0
Γ45(α)	14,5	600	236,3	7,6	7,2	99	81	21,6	17,1	4,5	117,6	22,2	19,6	0,8	372,1	35,5	42,7	42,7	0,44	0,04	-	0,10	0,00	0,00	0,084	0,001	<0,001	0,021	0,014	0,163	<0,001	<0,001	<0,001	654,0
Γ46(α)	15,7	498	332,7	7,5	6,9	79	105	17,0	17,1	0,0	91,2	18,3	20,1	0,3	372,1	14,2	15,0	24,6	0,41	0,00	-	0,49	0,07	0,04	0,146	<0,001	<0,001	0,033	0,055	0,166	<0,001	<0,001	<0,001	557,0
Γ47(α)	15,6	481	244,5	7,6	7,8	103	71	17,6	17,1	0,6	84,0	25,6	14,4	0,2	372,1	14,2	0,5	27,3	0,70	0,06	-	0,15	0,00	0,00	0,114	<0,001	<0,001	0,244	0,006	0,189	<0,001	<0,001	<0,001	539,5
Γ48(α)	15,6	446	237,2	7,8	7,4	89	45	15,5	14,6	0,9	89,6	12,9	12,5	0,1	317,2	7,1	4,8	31,7	0,41	0,00	-	0,00	0,12	0,17	0,15	0,003	<0,001	0,002	0,068	0,26	<0,001	<0,001	<0,001	477,0
Γ49(α)	15,3	530	243,5	7,3	7,8	93	77	18,7	14,3	4,4	88,8	27,0	13,3	0,1	311,1	14,2	42,5	46,2	0,49	0,00	-	0,10	0,11	0,06	0,226	0,004	<0,001	0,002	0,027	0,16	<0,001	<0,001	<0,001	544,0
Μέση Τιμή	17,2	615,4	244,4	7,8	6,3	78,9	78,0	19,2	16,9	3,0	75,6	37,3	35,3	0,4	368,2	28,4	42,6	26,4	0,54	0,16	-	0,17	0,09	0,17	0,149	0,085	0,001	0,041	0,043	0,133	0,003	0,012	<0,001	615,6
Τυπική Απόκλιση	2,2	242,3	32,4	0,4	1,2	16,9	35,9	7,9	5,0	4,2	33,3	22,5	27,7	0,7	108,2	22,4	73,0	17,4	0,12	0,17	-	0,13	0,10	0,16	0,046	0,225	0,000	0,076	0,034	0,070	0,011	0,012	<0,000	224,3
Ελάχιστη Τιμή	14,5	227,0	173,6	7,3	2,9	33,0	0,0	2,2	6,4	0,0	4,8	6,8	12,5	0,1	140,3	7,1	0,4	4,4	0,29	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,075	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,021	<0,001	<0,001	<0,001	245,5
Μέγιστη Τιμή	23,2	1.410,0	332,7	9,7	8,4	104,0	176,0	43,0	33,9	19,8	152,8	108,2	148,8	3,8	738,1	95,7	420,0	82,3	0,77	0,70	-	0,49	0,40	0,55	0,301	1,050	0,001	0,252	0,121	0,289	0,063	0,040	<0,001	1.273,0
Α) Δείγματα νερών από Τεταρτογενή Ιζήματα-Ξηρή περίοδος																																	
Γ9(β)	20,3	472	165,8	8,0	6,7	85	71	14,0	15,1	0,0	32,8	41,1	15,2	0,89	329,4	14,18	1,75	11,88	0,32	0	40,0	0	0,14	0,27	0,066	0,005	<0,001	0,002	0,092	0,162	<0,001	<0,001	<0,001	488,0
Γ10(β)	22,6	393	183,6	7,7	4,5	70	74	8,8	9,5	0,0	20	25,93	31,3	0,8	207,4	10,64	52,25	8,36	0,33	0,15	38,0	0	0,13	0,19	0,083	0,006	<0,001	0,021	<0,001	0,243	<0,001	<0,001	<0,001	396,0
Γ18(β)	17,5	1.077	180	7,6	6,9	86	130	32,1	22,4	9,7	90,4	84,69	44,5	0,61	488	24,82	250	6,6	0,37	0,08	45,0	0,33	0,12	0,2	0,193	0,042	<0,001	0,135	<0,001	0,152	<0,001	<0,001	<0,001	1.036,0
Γ20(β)	22	677	187,9	7,2	4,5	54	114	17,9	18,5	0,0	50,4	47	26,3	1,05	402,6	10,64	8,92	21,12	0,43	4,08	29,0	0,19	0,15	0,26	0,132	0,069	<0,001	0,015	<0,001	0,087	<0,001	<0,001	<0,001	602,5
Γ21(β)	23,3	398	174,7	7,9	7,1	90	73	10,8	12,3	0,0	38,4	23,52	15,8	0,75	268,4	10,64	2,32	11,88	0,31	0,08	26,0	0,05	0,12	0,23	0,118	0,015	<0,001	0,005	0,016	0,025	<0,001	<0,001	<0,001	399,0
Γ22(β)	20,4	1.440	141,6	7,3	0,7	4	216	37,1	47,3	0,0	93,6	104,24	102	1,21	1.030,9	39,01	4,15	7,04	0,35	4,26	41,0	0,05	0,09	0,23	0,138	0,598	<0,001	0,013	0,023	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	1.428,5
Γ30(β)	16,6	877	168,6	7,7	7,5	102	107	25,5	20,2	5,4	109,6	44,18	22,5	0,98	439,2	17,73	90,9	43,12	0,42	0,04	26,0	0,3	0,1	0,28	0,122	0,017	<0,001	0,136	<0,001	0,093	<0,001	<0,001	<0,001	795,5
Γ34(β)	16,6	825	160	7,9	7,7	97	99	24,8	21,8	3,0	52,8	75,82	24,8	0,24	475,8	17,73	28,99	50,6	0,4	0,14	49,0	0,31	0,09	0,27	0,084	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,059	<0,001	<0,001	<0,001	777,5
Γ36(β)	16,4	749	175,3	7,7	7,3	93	114	20,6	18,5	2,1	100	28,53	24,9	0,69	402,6	46,1	25,65	21,56	0,32	0	33,0	0,07	0,11	0,22	0,142	0,001	<0,001	0,05	<0,001	0,032	<0,001	<0,001	<0,001	684,0
Γ37(β)	17,6	1.024	203,2	7,4	6	79	88	29,4	18,5	11,0	112,8	59,33	17	0,27	402,6	92,2	87,4	43,56	0,29	0,04	30,5	0,26	0,07	0,19	0,104	0,005	<0,001	0,468	<0,001	0,147	<0,001	<0,001	<0,001	847,0
Γ40(β)	19	796	167,5	7,9	7,4	94	82	18,3	17,9	0,4	58,4	44,08	69	0,78	390,4	49,65	61,32	18,92	0,37	0,03	40,0	0,43	0,09	0,21	0,107	0,002	<0,001	0,011	<0,001	0,125	<0,001	<0,001	<0,001	734,0
Γ43(β)	16,4	1.009	190,8	7,4	6,8	83	125	26,1	18,5	7,6	138,4	29,09	42,4	0,74	402,6	74,47	50,5	64,24	0,32	0	33,0	0,16	0,12	0,19	0,103	0,003	<0,001	0,001	0,012	0,029	<0,001	<0,001	<0,001	836,5
Γ45(β)	13,7	794	183,6	7,3	7,2	101	110	21,2	17,9	3,3	118,4	20,26	19,2	1,14	390,4	39,01	1,7	46,64	0,32	0	23,5	0,03	0,07	0,13	0,109	0,005	<0,001	0,037	0,089	0,064	<0,001	<0,001	<0,001	661,0
Γ49(β)	17,2	631	192,3	7,2	6,7	85	116	18,7	18,8	0,0	88	27,53	14	0,21	372	14,18	28,75	40,04	0,38	0	39,0	0,03	0,03	0,19	0,092	0,017	<0,001	0,001	0,068	0,06	<0,001	<0,001	<0,001	661,5
Μέση Τιμή	18,5	797,3	176,8	7,6	6,2	80,2	108,5	21,8	19,8	3,0	78,9	46,8	33,5	0,7	428,7	32,9	49,6	28,25	0,35	0,64	35,2	0,16	0,10	0,219	0,114	0,056	<0,001	0,064	0,022	0,092	<0,001	<0,001	<0,001	739,1
Τυπική Απόκλιση	2,8	286,6	15,6	0,3	1,9	25,3	36,7	8,0	8,6	3,9	36,4	25,5	24,8	0,3	188,5	25,6	65,3	19,14	0,04	1,50	7,7	0,14	0,03	0,042	0,032	0,157	0,000	0,125	0,034	0,066	0,000	0,000	0,000	266,0
Ελάχιστη Τιμή	13,7	393,0	141,6	7,2	0,7	4,0	71,0	8,8	9,5	0,0	20,0	20,3	14,0	0,2	207,4	10,6	1,7	6,60	0,29	0,00	23,5	0,00	0,03	0,130	0,066	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,010	<0,001	<0,001	<0,001	396,0
Μέγιστη Τιμή	23,3	1.440,0	203,2	8,0	7,7	102,0	216,0	37,1	47,3	11,0	138,4	104,2	102,0	1,2	1.030,9	92,2	250,0	64,24	0,43	4,26	49,0	0,43	0,15	0,280	0,193	0,598	<0,001	0,468	0,092	0,243	<0,001	<0,001	<0,001	1.428,5
Β) Δείγματα νερών από Νεογενή ιζήματα																																	
Π2	16,3	937	240,9	7,2	5,1	70	134	33,7	21,8	11,9	168,0	44,3	13,6	4,40	475,8	39,01	53,75	107,36	0,51	0,23	-	0,22	0,15	0,26	0,052	0,006	<0,001	<0,001	0,057	0,147	<0,001	<0,001	<0,001	908,0
Γ50(α)	15,7	650	291,1	7,3	5,5	64	137	21,6	16,8	4,8	110,4	26,6	24,8	0,10	366,0	21,28	29,50	58,08	0,17	0,01	-	0,47	0,11	0,06	0,188	<0,001	<0,001	0,015	0,067	0,137	<0,001	<0,001	<0,001	638,0
Μέση Τιμή	16,0	793,5	266,0	7,2	5,3	67,0	135,5	27,6	19,3	8,3	139,2	35,4	19,2	2,25	420,9	30,15	41,63	82,72	0,34	0,12	-	0,35	0,13	0,16	0,120	0,004	0,001	0,008	0,062	0,142	0,001	<0,001	<0,001	773,0
Τυπική Απόκλιση	0,4	202,9	35,5	0,1	0,3	4,2	2,1	8,6	3,6	5,0	40,7	12,5	7,9	3,04	77,6	12,54	17,15	34,85	0,24	0,16	-	0,18	0,03	0,14	0,096	0,004	0,000	0,010	0,007	0,007	0,000	0,000	0,000	190,9
Ελάχιστη Τιμή	15,7	650,0	240,9	7,2	5,1	64,0	134,0	21,6	16,8	4,8	110,4	26,6	13,6	0,10	366,0	21,28	29,50	58,08	0,17	0,01	-	0,22	0,11	0,06	0,052	<0,001	<0,001	<0,001	0,057	0,137	<0,001	<0,001	<0,001	638,0
Μέγιστη Τιμή	16,3	937,0	291,1	7,3	5,5	70,0	137,0	33,7	21,8	11,9	168,0	44,3	24,8	4,40	475,8	39,01	53,75	107,36	0,51	0,23	-	0,47	0,15	0,26	0,188	0,006	0,001	0,015	0,067	0,147	0,001	<0,001	<0,001	908,0

Πίνακας 9.2 (συνέχεια). Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων νερού των πηγών (Π), γεωτρήσεων υγρής Γ(α) και ξηρής Γ(β) περιόδου από το Φλύσχη, τα Ανθρακικά και τους Οφιόλιθους της περιοχής δειγματοληψίας.

Δείγμα	Θερ/σία	EC	Eh	pH	O_2	O_2	CO_2	Σκληρότητα (^odH)			KATIONTA (mg/l)				ANIONTA (mg/l)				PO_4	NH_4	SiO_2	F	Br	I_2	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)									TDS
	T ^oC	μS/cm	(mvolt)		(mg/l)	(%)	(mg/l)	Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	Co	(mg/l)
Γ) Δείγματα νερών από Φλύσχη-Υγρή περίοδος																																	
Π9	13,9	577	416,2	7,0	6,2	73	225	22,3	22,4	0,0	142,4	10,1	10,4	1,5	488,0	24,8	6,1	8,8	0,32	0,00	-	0,39	0,03	0,15	0,146	0,008	<0,001	0,004	<0,001	0,083	<0,001	<0,001	<0,001	693,0
Π10	15,8	895	293,5	6,9	3,6	42	160	30,7	19,9	10,8	176,8	25,8	23,9	1,5	433,1	35,5	85,0	81,4	0,13	0,00	-	0,50	0,11	0,04	0,106	0,001	<0,001	0,001	0,004	0,133	<0,001	<0,001	<0,001	864,0
Π11	16,1	535	630	7,4	6,6	78	100	18,7	17,9	0,7	110,4	13,9	13,4	0,4	390,4	21,3	7,0	21,1	0,08	0,00	-	0,35	0,64	1,01	0,12	0,002	<0,001	<0,001	0,047	0,122	<0,001	<0,001	<0,001	580,0
Π12	15,7	1.138	480	6,9	3,1	39	230	36,9	21,0	15,9	215,2	29,2	36,3	5,7	457,5	67,4	131,4	90,2	0,22	0,53	-	0,71	0,06	0,04	0,119	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,164	<0,001	<0,001	<0,001	1.035,0
Γ51(α)	14,6	557	296,1	7,5	7,5	79	96	20,5	17,4	3,1	114,4	19,3	17,3	0,3	378,2	17,7	34,6	41,4	0,32	0,09	-	0,2	0,07	0,05	0,174	<0,001	<0,001	0,099	0,024	0,195	<0,001	<0,001	<0,001	624,0
Γ52(α)	15,5	612	229,2	7,6	7,6	79	90	20,9	17,4	3,5	117,6	19,3	22,8	0,4	378,2	24,8	23,6	42,7	0,35	0	-	0,18	0,26	0,21	0,183	0,005	<0,001	<0,001	0,037	0,246	<0,001	<0,001	<0,001	630,5
Γ53(α)	15,7	720	295,4	7,5	6,2	81	104	24,9	19,0	5,9	132,8	27,6	26,8	1,0	414,8	17,7	62,1	82,7	0,34	0,10	-	0,24	0,06	0,03	0,231	0,015	<0,001	0,318	<0,001	0,127	<0,001	<0,001	<0,001	767,0
Γ54(α)	14,9	706	292,3	7,2	6,1	72	150	23,0	16,5	6,5	133,6	18,8	28,6	0,1	359,9	21,3	75,0	59,4	0,26	0,01	-	0,65	0,03	0,04	0,219	<0,001	<0,001	0,002	0,074	0,019	0,002	<0,001	<0,001	698,0
Γ55(α)	15,4	816	246,3	7,2	6,2	83	98	28,4	17,4	11,1	155,2	29,1	20,4	0,8	378,2	17,7	74,1	134,6	0,27	0,19	-	0,19	0,00	0,00	0,144	0,021	<0,001	0,012	0,057	0,092	<0,001	<0,001	<0,001	811,0
Γ56(α)	16,1	599	240	7,2	7,2	95	106	21,4	16,8	4,6	104,8	29,0	20,4	0,2	366,0	35,5	11,7	31,7	0,5	0,04	-	0,14	0	0	0,163	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,015	<0,001	<0,001	<0,001	600,0
Γ57(α)	15,2	850	282,5	7,1	6,5	75	140	25,6	19,6	6,0	151,2	19,4	39,6	1,4	427,0	53,2	91,3	77,0	0,10	0,01	-	0,63	0,06	0,08	0,196	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,161	<0,001	<0,001	<0,001	861,0
Γ58(α)	16,5	725	237	7,3	7,2	95	115	23,9	18,8	5,2	129,6	25,2	26,1	1,0	408,7	31,9	17,4	52,4	0,43	0,03	-	0,24	0,01	0,03	0,216	0,014	<0,001	0,04	0,046	0,168	<0,001	<0,001	<0,001	693,5
Γ59(α)	16,2	947	240,7	7,1	5,8	74	155	29,0	23,5	5,5	151,2	34,0	61,5	1,3	512,4	53,2	87,4	62,9	0,42	0,34	-	0,47	0,00	0,00	0,18	0,006	<0,001	0,035	0,04	0,109	<0,001	<0,001	<0,001	965,5
Μέση Τιμή	15,5	744,4	321,5	7,2	6,0	74,2	136,1	25,1	19,0	6,1	141,2	23,1	26,7	1,2	414,8	32,5	54,3	60,5	0,29	0,10	-	0,38	0,10	0,13	0,169	0,006	<0,001	0,040	0,026	0,126	0,001	<0,001	<0,001	755,6
Τυπική Απόκλιση	0,7	178,7	118,4	0,2	1,2	16,7	47,2	5,0	2,2	4,4	30,2	6,9	13,3	1,4	47,6	16,1	40,1	33,4	0,13	0,16	-	0,20	0,18	0,27	0,041	0,007	0,000	0,088	0,026	0,065	0,000	0,000	0,000	143,6
Ελάχιστη Τιμή	13,9	535,0	229,2	6,9	3,1	39,0	90,0	18,7	16,5	0,0	104,8	10,1	10,4	0,1	359,9	17,7	6,1	8,8	0,08	0,00	-	0,14	0,00	0,00	0,106	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,015	<0,001	<0,001	<0,001	580,0
Μέγιστη Τιμή	16,5	1.138,0	630,0	7,6	7,2	95,0	230,0	36,9	23,5	15,9	215,2	34,0	61,5	5,7	512,4	67,4	131,4	134,6	0,50	0,53	-	0,71	0,64	1,01	0,231	0,021	<0,001	0,318	0,074	0,246	0,002	<0,001	<0,001	1.035,0
Γ) Δείγματα νερών από Φλύσχη-Ξηρή περίοδος																																	
Γ53(β)	16	850	193,2	7,2	6,7	87	116	23,6	17,9	5,7	135,2	20,3	1,0	1,17	390,4	14,18	49,65	84,48	0,01	0,00	18,5	0,18	0,11	0,17	0,134	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,068	<0,001	<0,001	<0,001	715,5
Γ57(β)	16,4	1074	191,8	7,1	7,1	93	142	28,7	20,2	8,5	175,2	17,9	28,3	1,37	439,2	49,65	58,00	114,84	0,25	0,23	21,5	0,24	0,09	0,22	0,059	0,006	<0,001	0,001	<0,001	0,151	<0,001	<0,001	<0,001	907,5
Γ59(β)	16,7	1155	211,5	7,0	5	75	173	24,5	17,4	7,1	150,4	14,9	68,0	1,52	378,2	56,74	98,25	55,88	0,24	0,01	27,3	0,38	0,14	0,19	0,126	0,003	<0,001	0,028	<0,001	0,227	<0,001	<0,001	<0,001	852,3
Μέση Τιμή	16,4	1.026,3	198,8	7,1	6,3	85,0	143,7	25,6	18,5	7,1	153,6	17,7	32,4	1,35	402,6	40,19	68,63	85,07	0,17	0,08	22,4	0,27	0,11	0,19	0,106	0,004	<0,001	0,010	<0,001	0,149	<0,001	<0,001	<0,001	825,1
Τυπική Απόκλιση	0,4	158,0	11,0	0,1	1,1	9,2	28,5	2,7	1,5	1,4	20,2	2,7	33,7	0,18	32,3	22,80	25,99	29,48	0,14	0,13	4,5	0,10	0,03	0,03	0,041	0,002	0,000	0,015	0,000	0,080	<0,000	<0,000	<0,000	98,8
Ελάχιστη Τιμή	16,0	850,0	191,8	7,0	5,0	75,0	116,0	23,6	17,4	5,7	135,2	14,9	1,04	1,17	378,2	14,18	49,65	55,88	0,01	0,00	18,5	0,18	0,09	0,17	0,059	0,003	<0,001	0,001	<0,001	0,068	<0,001	<0,001	<0,001	715,5
Μέγιστη Τιμή	16,7	1.155,0	211,5	7,2	7,1	93,0	173,0	28,7	20,2	8,5	175,2	20,3	68,0	1,52	439,2	56,74	98,25	114,84	0,25	0,23	27,3	0,38	0,14	0,22	0,134	0,006	<0,001	0,028	<0,001	0,227	<0,001	<0,001	<0,001	907,5
Δ) Δείγματα νερών από Ανθρακικά-Υγρή περίοδος																																	
Π1	15,4	715	284,4	7,3	6,4	74	155	24,6	17,4	7,3	124,0	31,5	20,3	0,30	378,2	24,82	53,00	61,60	0,31	0,03	-	0,50	0,10	0,06	0,091	0,005	<0,001	0,001	0,08	0,144	<0,001	<0,001	<0,001	695,0
Π6	13,4	449	286	7,3	6,9	81	97	17,0	15,7	1,3	100,8	12,4	7,3	5,10	341,6	10,64	16,20	29,04	0,19	0,00	-	0,47	0,03	0,04	0,117	0,002	<0,001	<0,001	0,01	0,19	<0,001	<0,001	<0,001	524,0
Π7	13,5	460	200,1	7,4	6,5	89	89	18,4	16,8	1,6	97,6	20,7	8,3	11,40	366,0	17,73	4,95	6,16	0,38	0,04	-	0,11	0,02	0,00	0,123	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,211	<0,001	<0,001	<0,001	534,0
Π8	11,4	283	205	7,4	6,5	89	60	11,8	11,2	0,6	75,2	5,52	2,5	0,40	244,0	10,64	2,54	8,80	0,29	0,01	-	0,00	0,03	0,03	0,148	<0,001	<0,001	0,001	0,046	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	350,5
Γ4(α)	15,3	712	284,2	7,4	6,2	74	140	24,7	17,6	7,1	122,4	33,0	17,8	0,82	384,3	24,82	67,57	74,80	0,29	0,00	-	0,46	0,12	0,06	0,218	0,009	<0,001	<0,001	0,016	0,115	<0,001	<0,001	<0,001	727,0
Γ5(α)	14,8	443	304	7,2	7,3	86	105	16,3	16,5	0,0	110,4	3,6	2,0	0,10	359,9	7,09	1,70	13,64	0,10	0,00	-	0,37	0,09	0,13	0,126	0,007	<0,001	<0,001	<0,001	0,02	<0,001	0,01	<0,001	499,5
Γ6(α)	18,2	522	242,2	7,4	6,1	75	133	18,4	18,5	0,0	83,2	29,5	10,7	0,86	402,6	14,18	0,40	10,12	0,54	0,03	-	0,08	0,00	0,00	0,216	0,028	<0,001	<0,001	<0,001	0,117	<0,001	0,001	<0,001	552,0
Γ11(α)	17	677	395,8	6,9	6,9	75	330	23,9	25,2	0,0	156,8	8,61	9,5	5	549,0	14,18	10,81	22	0,11	0,23	-	0,32	0,01	0,1	0,162	0,024	<0,001	<0,001	0,063	0,058	<0,001	0,001	<0,001	777,0
Γ12(α)	16,3	703	367,1	6,9	6,9	70	240	24,0	22,7	1,4	165,6	3,74	15,7	0,5	494,1	14,18	27	28,6	0,1	0	-	0,43	0,04	0,03	0,163	0,005	<0,001	<0,001	0,045	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	750,5
Μέση Τιμή	15,0	551,6	285,4	7,2	6,6	79,2	149,9	19,9	18,0	2,1	115,1	16,5	10,5	2,7	391,1	15,4	20,4	28,3	0,26	0,04	-	0,30	0,05	0,05	0,152	0,009	<0,001	<0,001	0,029	0,101	<0,001	0,002	<0,001	601,1
Τυπική Απόκλιση	2,1	156,0	66,0	0,2	0,4	7,2	84,8	4,6	4,0	2,9	30,7	12,3	6,4	3,8	87,7	6,1	24,4	24,3	0,15	0,07	-	0,19	0,04	0,04	0,044	0,010	0,000	0,000	0,030	0,073	0,000	0,003	0,000	143,1
Ελάχιστη Τιμή	11,4	283,0	200,1	6,9	6,1	70,0	60,0	11,8	11,2	0,0	75,2	3,6	2,0	0,1	244,0	7,1	0,4	6,2	0,10	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,091	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	350,5
Μέγιστη Τιμή	18,2	715,0	395,8	7,4	7,3	89,0	330,0	24,7	25,2	7,3	165,6	33,0	20,3	11,4	549,0	24,8	67,6	74,8	0,54	0,23	-	0,50	0,12	0,13	0,218	0,028	<0,001	<0,001	0,080	0,211	<0,001	0,010	<0,001	777,0
Δ) Δείγματα νερών από Ανθρακικά-Ξηρή περίοδος																																	
Γ11(β)	18,4	793	200,7	7,3	7,2	102	164	23,5	23,0	0,5	163,2	2,76	11,2	0,5	500,2	14,18	12,66	26,4	0,15	0,12	15,0	0	0,11	0,17	0,097	0,002	<0,001	0,054	0,016	0,073	<0,001	<0,001	<0,001	747,0
Ε) Δείγματα νερών από Οφιόλιθους-Υγρή περίοδος																																	
Π3	18	674	218,5	8,2	7,6	99	90	27,6	26,9	0,8	14,4	111,4	2,2	0,1	585,6	10,64	0,40	6,16	0,67	0,22	-	0	0,01	0,04	0,077	0,001	<0,001	0,003	0,081	0,161	<0,001	<0,001	<0,001	731,5
Π4	14,9	554	310,4	7,9	5,1	59	115	21,9	19,3	2,6	13,6	87,0	4,5	1,92	420,9	17,73	8,43	33	0,25	0	-	0,37	0,06	0,09	0,178	<0,001	<0,001	<0,001	0,067	0,095	<0,001	<0,001	<0,001	588,0
Π5	15,3	698	285,7	7,3	3,1	37	115	24,2	17,9	6,2	96	46,6	14	1,59	390,4	28,37	57,5	66	0,36	0,03	-	0,27	0,03	0,06	0,221	0,003	<0,001	0,001	0,062	0,097	<0,001	<0,001	<0,001	701,5
Γ1(α)	16,7	628	309,6	8,0	7,2	87	145	24,8	25,2	0,0	27,2	91,4	4,7	0,1	549	10,64	0,56	25,52	0,25	0,01	-	0,28	0,04	0,04	0,198	0,018	0,024	0,003	0,008	0,057	0,125	0,01	<0,001	710,0
Γ2(α)	15,9	416	263	8,0	6	72	95	17,0	16,2	0,7	8,8	68,4	0,94	0,12	353,8	10,64	0,97	12,32	0,19	0	-	0,34	0,04	0,15	0,207	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,23	<0,001	0,006	<0,001	457,0
Γ3(α)	16,4	581	281,8	7,6	6	71	107	21,2	18,2	3,0	47,2	63,6	11,4	0,11	396,5	10,64	20,25	44,88	0,16	0,03	-	0,43	0,04	0,05	0,211	0,046	<0,001	0,001	0,003	0,143	<0,001	<0,001	<0,001	595,5
Γ7(α)	16,5	498	216,3	8,2	8,2	100	62	20,3	19,3	1,0	6,4	84,5	2,2	0,1	420,9	10,64	0,40	12,32	0,43	0,18	-	0	0,18	0,28	0,243	<0,001	<0,001	0,031	0,069	0,076	<0,001	0,005	<0,001	538,5
Γ8(α)	16,7	785	261,2	8,1	8,1	75	67	28,4	16,8	11,6	44	96,8	22,8	0,63	366	10,64	149,6	66,88	0,54	0,59	-	0,2	0,03	0,04	0,154	<0,001	<0,001	0,002	0,022	0,221	<0,001	<0,001	<0,001	759,0
Γ14(α)	16,6	489	220,5	8,1	8,1	62	41	18,3	16,8	1,5	22,4	66,0	9,7	0,1	366	10,64	5,93	21,56	0,5	0,13	-	0	0,11	0,23	0,113	0,001	<0,001	0,003	0,005	0,076	<0,001	0,05	<0,001	503,5
Γ15(α)	16,9	405	220,5	8,1	8,1	60	58	11,8	13,2	0,0	24,8	36,2	37,7	0,13	286,7	10,64	11,75	23,76	0,41	0,01	-	0,01	0,2	0,39	0,192	0,002	<0,001	<0,001	0,032	0,108	<0,001	0,007	<0,001	433,0
Γ16(α)	16,1	535	311,4	8,2	7,3	88	125	22,5	21,8	0,6	16	88,0	3,5	0,11	475,8	7,09	0,68	8,8	0,36	0	-	0,31	0,02	0,13	0,202	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,107	<0,001	<0,001	<0,001	601,0
Γ26(α)	16,6	518	253,2	8,1	6,5	80	67	19,4	16,8	2,6	31,2	65,5	8,7	0,2	366	35,46	2,50	24,64	0,78	0,37	-	0,07	0	0,03	0,209	0,006	<0,001	0,002	0,066	0,06	0,005	0,005	<0,001	536,0
Γ41(α)	16,9	618	288,8	7,7	6,3	81	70	18,9	12,9	6,0	83,2	31,4	30,3	0,2	280,6	14,18	59,2	70,4	0,34	0,12	-	0,36	0,02	0,13	0,113	0,033	<0,001	0,105	0,062	0,096	<0,001	<0,001	<0,001	571,0
Μέση Τιμή	16,4	569,2	264,7	8,0	6,7	74,7	89,0	21,3	18,6	2,8	33,5	72,1	11,7	0,4	404,5	14,5	24,4	32,0	0,40	0,13	-	0,20	0,06	0,13	0,178	0,009	0,003	0,012	0,037	0,117	0,011	0,007	<0,001	594,3
Τυπική Απόκλιση	0,8	110,3	36,7	0,3	1,5	17,5	30,9	4,5	4,1	3,3	27,9	24,0	11,6	0,6	89,4	8,2	42,9	22,9	0,18	0,18	-	0,16	0,06	0,11	0,049	0,015	0,006	0,029	0,031	0,056	0,034	0,013	0,000	104,5
Ελάχιστη Τιμή	14,9	405,0	216,3	7,3	3,1	37,0	41,0	11,8	12,9	0,0	6,4	31,4	0,9	0,1	280,6	7,1	0,4	6,2	0,16	0,00	-	0,00	0,00	0,03	0,077	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,057	<0,001	<0,001	<0,001	433,0
Μέγιστη Τιμή	18,0	785,0	311,4	8,2	8,2	100,0	145,0	28,4	26,9	11,6	96,0	111,4	37,7	1,9	585,6	35,5	149,6	70,4	0,78	0,59	-	0,43	0,20	0,39	0,243	0,046	0,024	0,105	0,081	0,230	0,125	0,050	<0,001	759,0
Ε) Δείγματα νερών από Οφιόλιθους-Ξηρή περίοδος																																	
Γ7(β)	17,6	589	160	8,2	7,8	98	93	20,2	19,6	0,6	5,6	84,5	2,7	0,18	427	10,64	2,26	11,44	0,27	0,01	39,0	0,04	0,12	0,21	0,115	0,004	0,001	0,002	0,116	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	584,5
Γ8(β)	17,2	764	181,1	7,8	5	62	76	22,8	16,8	6,0	51,2	68	19,7	0,38	366	10,64	101,8	52,8	0,24	0,14	35,0	0,1	0,12	0,23	0,111	<0,001	<0,001	0,003	0,049	0,046	<0,001	<0,001	<0,001	706,5
Γ26(β)	18	353	136,9	8,5	4,2	53	58	19,1	17,1	2,0	26,4	67,0	17,00	0,14	372,1	21,28	25,00	18,04	1,25	0,00	54,5	0,03	0,17	0,15	0,129	0,002	<0,001	0,005	0,014	0,093	<0,001	<0,001	<0,001	603,5
Μέση Τιμή	17,6	568,7	159,3	8,2	5,7	71,0	75,7	20,7	17,8	2,9	27,7	73,2	13,1	0,2	388,4	14,2	43,0	27,4	0,59	0,05	42,8	0,06	0,14	0,20	0,118	0,002	0,001	0,003	0,060	0,048	0,001	0,001	0,001	631,5
Τυπική Απόκλιση	0,4	206,3	22,1	0,4	1,9	23,8	17,5	1,9	1,5	2,8	22,8	9,8	9,1	0,1	33,6	6,1	52,2	22,2	0,57	0,08	10,3	0,04	0,03	0,04	0,009	0,002	0,000	0,002	0,052	0,044	0,000	0,000	0,000	65,6
Ελάχιστη Τιμή	17,2	353,0	136,9	7,8	4,2	53,0	58,0	19,1	16,8	0,6	5,6	67,0	2,7	0,1	366,0	10,6	2,3	11,4	0,24	0,00	35,0	0,03	0,12	0,15	0,111	<0,001	<0,001	0,002	0,014	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	584,5
Μέγιστη Τιμή	18,0	764,0	181,1	8,5	7,8	98,0	93,0	22,8	19,6	6,0	51,2	84,5	19,7	0,4	427,0	21,3	101,8	52,8	1,25	0,14	54,5	0,10	0,17	0,23	0,129	0,004	0,001	0,005	0,116	0,093	0,001	0,001	0,001	706,5

διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα (*Heath* 1964). Εντούτοις όμως, οι αρκετά υψηλές θερμοκρασίες στο κέντρο της λεκάνης Ξυνιάδας υποδηλώνουν γεωθερμική ανωμαλία στην περιοχή, με πιθανή την κυκλοφορία θερμών νερών. Δεν θα πρέπει έτσι να αποκλειστεί, κάποια σχέση με την γεωθερμική ανωμαλία της ευρύτερης περιοχής της Όθρυος, η οποία εκδηλώνεται με την κατά τόπους έξοδο γεωθερμικών ρευστών, όπως Πλατυστόμου, Καίτσας, Αρχανίου, Εκκάρας (*Παπαδέας* 1996, *Lambrakis et al*. 2012).



Σχήμα 9.2. Ιστόγραμμα σύγκρισης της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

9.3.1.2 Το pH

Το pH αποτελεί μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας ενός διαλύματος, αναφέρεται ως ενεργός οξύτητα και είναι η συγκέντρωση των ιόντων H_3O^+ που περιέχεται στο διάλυμα, ενώ ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης αυτών με τιμές από 0 έως 14. Το pH του υπόγειου νερού καθορίζεται από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις και ισορροπίες μεταξύ των διαλυμένων ιόντων μέσα σε αυτό. Σε χαμηλές τιμές του (όξινο περιβάλλον) είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης καθώς ευνοεί την αφαίρεση Fe και Al από τα μητρικά υλικά και αυξάνει την συγκέντρωση SiO_2 (*Βουδούρης* 2009). Κατά τον *Λαμπράκη* (1999), στην περιοχή τιμών του pH 4-10 είναι σημαντικός παράγοντας έναρξης διάβρωσης, αν και η ταχύτητα διάβρωσης του νερού είναι ανεξάρτητη αυτού.

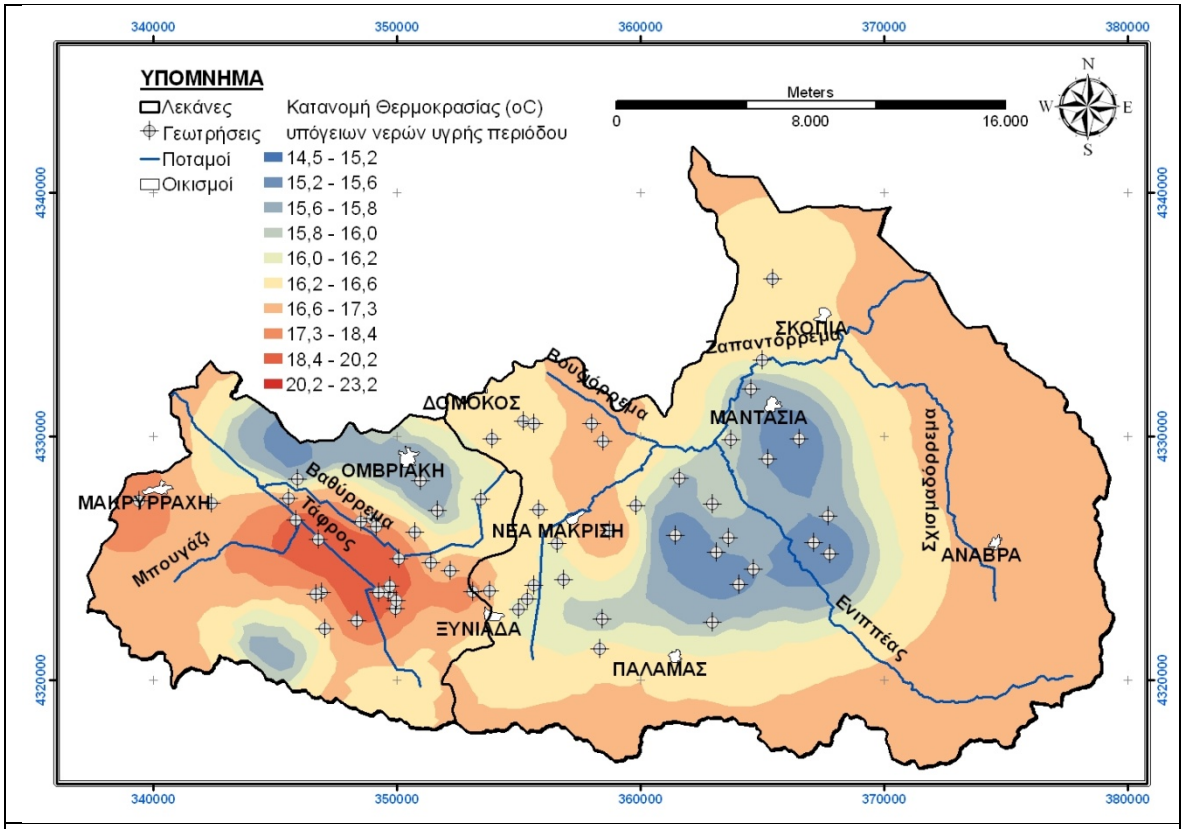
Οι μεγάλες αλλαγές του pH είναι ενδεικτικές βιομηχανικής ρύπανσης ενώ αντίθετα σε καθαρά νερά, το pH ρυθμίζεται από την ανταλλαγή του διοξειδίου του άνθρακα με την ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι διαλυτό στο νερό και το ποσό του που θα διαλυθεί στο νερό θα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης αυτού στον αέρα (*http://www.stevenswater.com*).

Το ενδεικτικό επίπεδο του pH στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία *98/83* της Ε.Ε. είναι μεταξύ 6,5 και 9,5. Με επεξεργασία μπορεί να αντιμετωπιστεί η χρήση νερού με pH 5-9 έτσι ώστε να γίνει 7, αλλά πέρα από αυτά τα όρια η επεξεργασία του νερού για πόσιμη χρήση καθίσταται αντιοικονομική (*Καλλέργης* 2000).

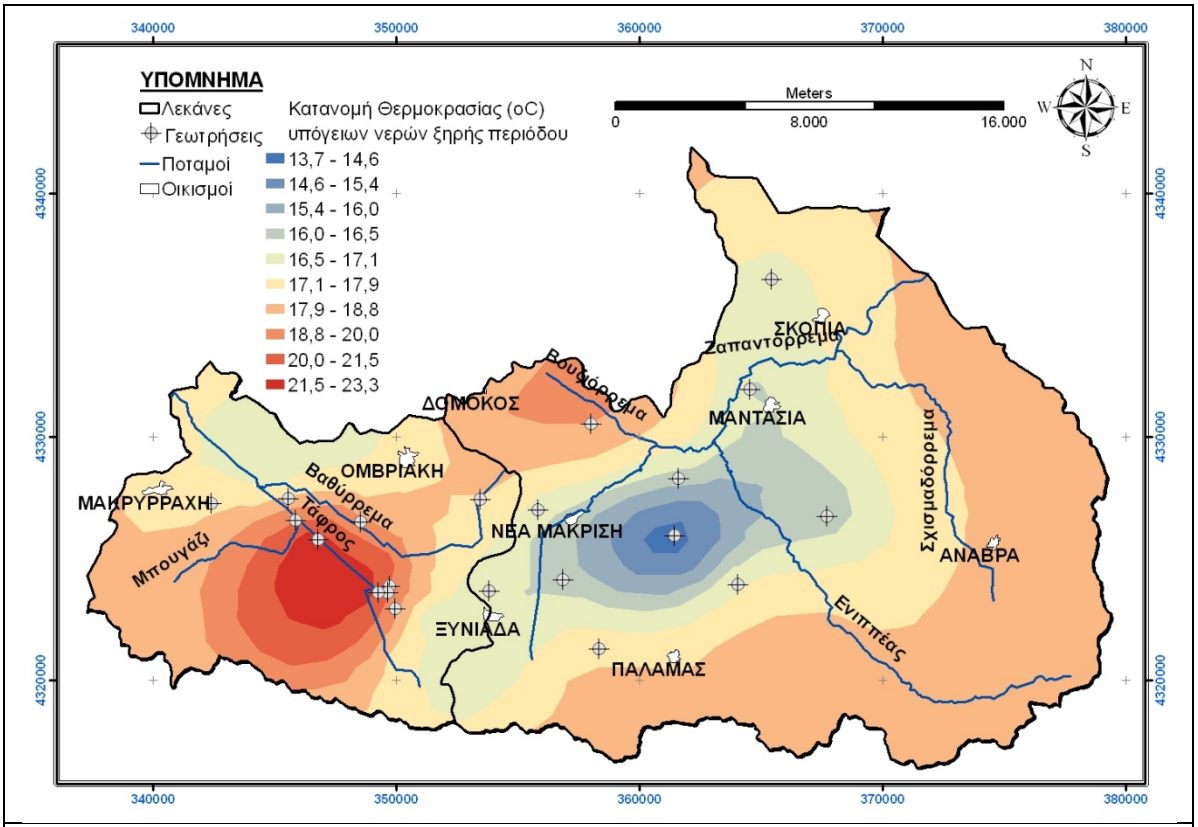
Στα υπόγεια νερά του οροπεδίου Δομοκού το pH κυμάνθηκε από 6,9 μέχρι 9,7 με τις χαμηλότερες τιμές να παρατηρούνται σε δείγματα των πηγών (6,9 έως 8,15) και τις πιο υψηλές σε γεωτρήσεις.

Αναλυτικά οι τιμές του pH των δειγμάτων νερών έχουν:

- Στα αλλούβια για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 7,3 έως 9,7 με μέση τιμή 7,8 και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 7,2 έως 8,0 με μέση τιμή 7,6.
- Στα νεογενή η διακύμανση είναι από 7,2 έως 7,3 με μέση τιμή 7,2.



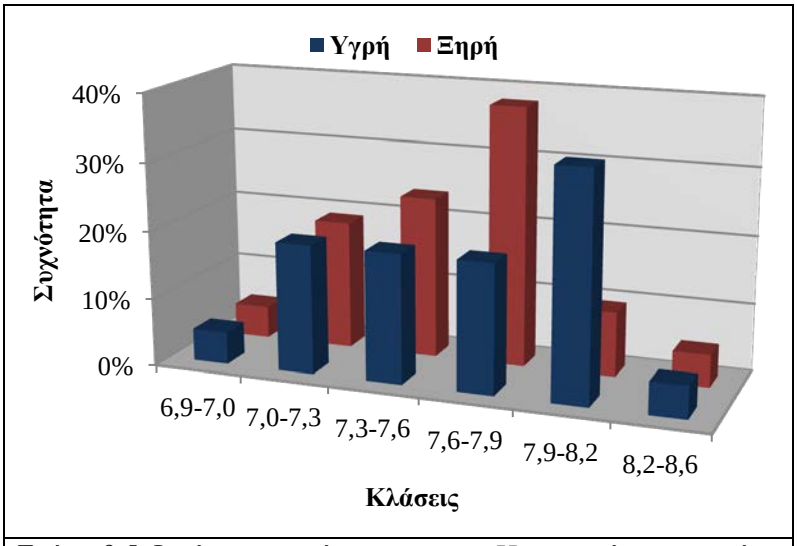
Σχήμα 9.3. Χωρική κατανομή της Θερμοκρασίας στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



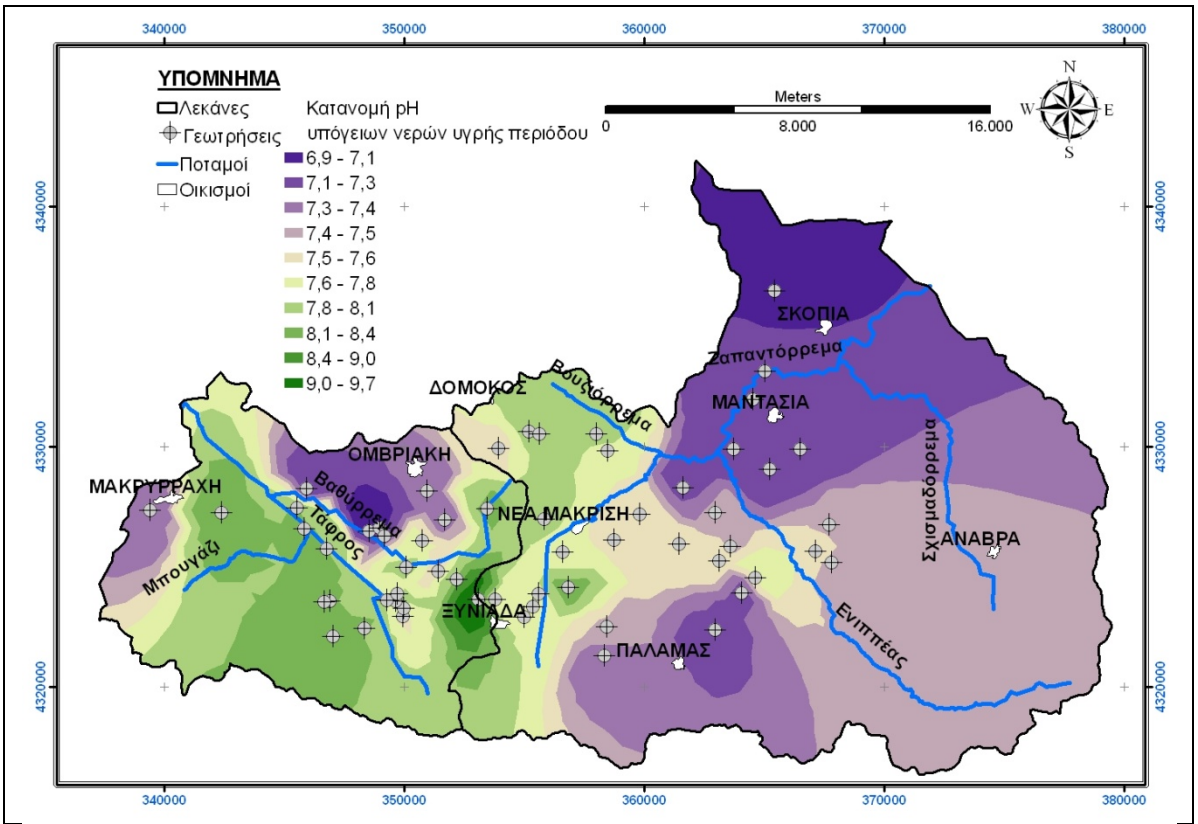
Σχήμα 9.4. Χωρική κατανομή της Θερμοκρασίας στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

- Στο φλύσχη η διακύμανση είναι για την υγρή περίοδο 6,9 έως 7,6 και η μέση τιμή 7,2 και για την ξηρή περίοδο 7,0 έως 7,2 με μέση τιμή 7,1.

- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το pH κυμαίνεται από 6,9 έως 7,4 και η μέση τιμή είναι 7,2, η δε τιμή του pH για την γεώτρηση της ξηρής περιόδου είναι 7,3.
- Στους οφιόλιθους της υγρής περιόδου η διακύμανση είναι 7,3 έως 8,2 με μέση τιμή 8,0, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τις γεωτρήσεις ξηρής περιόδου έχουν διακύμανση από 7,8 έως 8,5 με μέση τιμή 8,2.



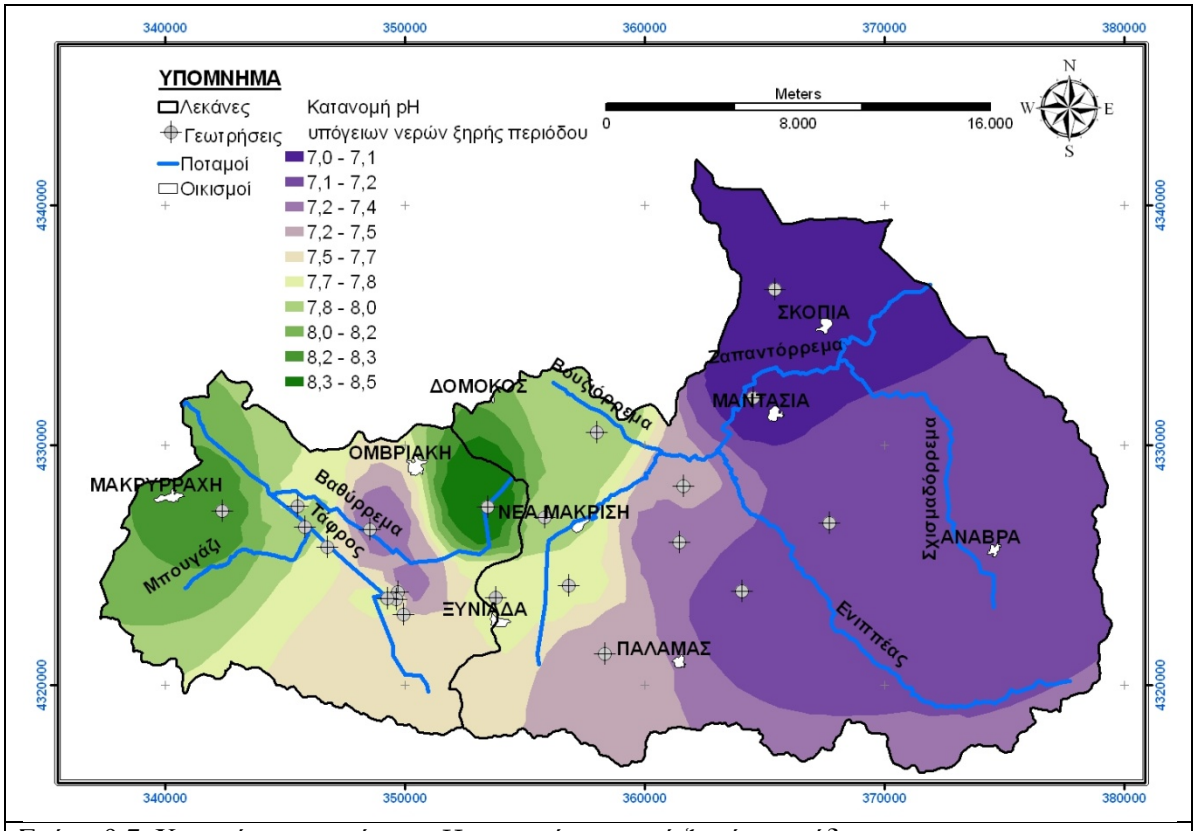
Σχήμα 9.5. Ιστόγραμμα σύγκρισης του pH των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.



Σχήμα 9.6. Χωρική κατανομή του pH στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

Η σύγκριση των δύο περιόδων δείχνει μια μικρή πτώση των τιμών του pH κατά την ξηρή περίοδο (Σχήμα 9.5). Η χωρική διαφοροποίηση του pH παρουσιάζεται στα σχήματα 9.6 και

9.7 και συσχετίζεται με την λιθολογία της περιοχής. Για τις τεταρτογενείς αποθέσεις οι τιμές είναι ενδεικτικές ενός χαρακτήρα ελαφρώς αλκαλικού έως αλκαλικού, με αυτό να είναι φυσιολογικό καθώς περιέχουν περισσότερο ανθρακικό κλαστικό υλικό. Στους οφιόλιθους ο ίδιος χαρακτήρας του νερού οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα τους σε Mg^{2+}. Στα νεογενή και στο φλύσχη που η περιεκτικότητα σε ανθρακικό κλαστικό υλικό είναι μικρότερη, το pH κινείται σε ουδέτερες τιμές.



Σχήμα 9.7. Χωρική κατανομή του pH στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

9.3.1.3 Δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh)

Η οξείδωση ή αναγωγή ενός στοιχείου με την απώλεια ή την πρόσληψη ηλεκτρονίων αντίστοιχα αναφέρεται ως οξειδοαναγωγή (redox). Η κατανομή των O_2, Fe^{2+}, H_2S, CH_4 και άλλων συστατικών στο υπόγειο νερό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το δυναμικό οξειδοαναγωγής. Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής εμπεριέχουν ανταλλαγή ηλεκτρονίων από ένα άτομο σε άλλο και αποτελούν πολύ σημαντικές πηγές ενέργειας. Είναι αντιδράσεις αργές αλλά συχνά επιταχύνονται από την παρουσία βακτηριακής κατάλυσης. Παράδειγμα αποτελούν η αναγωγή των νιτρικών αλάτων σε N από το Pseudomonas και η αναγωγή των θειικών αλάτων σε θειούχα από το *Desulphotomaculum* και το *Desulphovibrio* (*Λαμπράκης* 1999, *Καλλέργης* 2000).

Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh) ενός υδατικού διαλύματος μπορεί να υπολογισθεί από την εξίσωση του Nerst. Μετράται με ευαίσθητα ηλεκτρόδια και εξαρτάται από τη θέση ισορροπίας της αντίδρασης:

Οξειδωμένη μορφή + e- ↔ Ανηγμένη μορφή

Η θέση της ισορροπίας εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις του οξειδωτικού και του αναγωγικού σώματος. Το πιο άφθονο και ισχυρό οξειδωτικό στη φύση είναι το οξυγόνο και το ισχυρότερο αναγωγικό θεωρείται το υδρογόνο. Η μεταβολή του pH στο περιβάλλον προκαλεί σημαντική μεταβολή της τιμής του δυναμικού οξειδοαναγωγής λόγω της συμμετοχής των ιόντων OH^- στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Γνωρίζοντας τις τιμές του

δυναμικού οξειδοαναγωγής, σε συνάρτηση με το pH, είναι δυνατός ο προσδιορισμός των μορφών με τις οποίες βρίσκεται ένα χημικό στοιχείο σε ένα συγκεκριμένο φυσικό περιβάλλον (*Βουδούρης* 2009).

Στα δείγματα των υπόγειων νερών του οροπεδίου Δομοκού το Eh σε mvolt κυμαίνεται:

- Για τις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 173,6 έως 332,7 με μέση τιμή 244,4. Για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 141,6 έως 203,2 με μέση τιμή 176,8.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς 240,9 έως 291,1 με μέση τιμή 266,0.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Eh είναι 229,2 και 630,0 mvolt αντίστοιχα και η μέση τιμή 321,5, ενώ στην ξηρή περίοδο οι τιμές του Eh των υπόγειων νερών στο σχηματισμό του Φλύσχη κυμαίνονται από 191,8 έως 211,5 με μέση τιμή 198,8.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Eh κυμαίνεται από 200,1 έως 395,8 και η μέση τιμή είναι 285,4, ενώ η τιμή του Eh για την γεώτρηση ξηρής περιόδου είναι 200,7 mvolt.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 216,3 έως 311,4 mvolt με μέση τιμή 264,7 και για την ξηρή περιόδο η διακύμανση του Eh είναι από 136,9 έως 181,1 με μέση τιμή 159,3 mvolt.

Από τις τιμές του Eh διαπιστώνεται, ότι υπερτερούν οι οξειδωτικές συνθήκες και αυτό είναι φυσιολογικό καθώς το οξυγόνο δεν έφτασε ποτέ σε επίπεδα έλλειψης. Παρατηρούνται γενικά, μικρές χωρικά διαφοροποιήσεις και μικρή σχετικά διακύμανση μεταξύ ελαχίστων και μεγίστων τιμών. Εξαίρεση αποτελούν οι ρυπασμένες πηγές στην περιοχή της Μαντασιάς και της Σκοπιάς στο βορειανατολικό τμήμα του οροπεδίου που σχετίζονται με ανθρωπογενείς παράγοντες (*Charizopoulos et al*. 2013b). Εξάλλου, η παρουσία στα υπόγεια νερά των O_2, NO_3^- και SO_4^{2-}, τα οποία λειτουργούν σαν αποδέκτες ηλεκτρονίων, δημιουργεί οξειδωτικές συνθήκες (*Massmann et al*. 2004).

Η σύγκριση υγρής και ξηρής περιόδου δείχνει μια πτώση των τιμών του Eh. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό με τη χρήση και κατά την πορεία του στην κατακόρυφο των γεωτρήσεων, καθώς και με την κίνησή του από ανάντη προς κατάντη και σε μεγάλη απόσταση, γίνεται αναγωγικό (*Καλλέργης* 2000).

9.3.1.4 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση της ικανότητας ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται από την παρουσία ιόντων, την ολική τους συγκέντρωση, το σθένος και τις επιμέρους συγκεντρώσεις τους, καθώς και την θερμοκρασία μέτρησης καθώς αυξάνει με την θερμοκρασία (*Παππά* 2001).

Το καθαρό νερό δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Έτσι, η ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με την ποσότητα και τη φύση των διαλυμένων ηλεκτρολυτών. Αυξημένη αγωγιμότητα υποδηλώνει αυξημένες ποσότητες αλάτων, που ανάλογα με τη φύση τους και τη συγκέντρωσή τους μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα υγείας (*Βουδούρης* 2009).

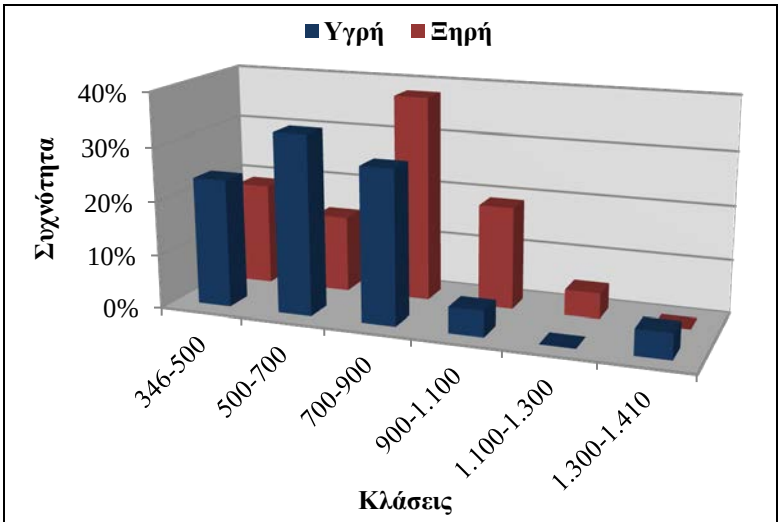
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράται σε μS/cm με ειδικά όργανα (αγωγιμόμετρα) και ορίζεται ως το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης που μετράται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων λευκόχρυσου, συνδεδεμένα με μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος. Για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. (*EU Council directive 98/83* 1998) το ενδεικτικό επίπεδο της αγωγιμότητας στους 20^{o}C είναι 400 μS/cm.

Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα των υπόγειων νερών κυμαίνονται:

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 227 έως 1.410 μS/cm με μέση τιμή 615,4 και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 393 έως 1.440 με μέση τιμή 797,3 μS/cm.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 650 έως 937 μS/cm με μέση τιμή 793,5.

- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της EC είναι 535 και 1.138 μS/cm αντίστοιχα και η μέση τιμή 744,4. Στην ξηρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι από 850 έως 1.155 μS/cm με μέση τιμή 1.026,3.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από 283 μS/cm έως 715 με μέση τιμή 551,6, ενώ η τιμή της EC για την γεώτρηση της ξηρής περιόδου είναι 793 μS/cm.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 405 έως 785 με μέση τιμή 569,2 μS/cm και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 353 έως 764 με μέση τιμή 568,7 μS/cm.

Οι υψηλές τιμές της E.C. (895 έως 1.138 μS/cm) που διαπιστώνονται σε κάποια από τα δείγματα των πηγών συνδέονται με τους σηπτικούς βόθρους των οικισμών καθώς αυτές βρίσκονται εντός και στην κατάντη αυτών. Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές της E.C. στο σύνολο των δειγμάτων παρατηρούνται στις πηγές από το νοτιανατολικό τμήμα της λεκάνης, των οποίων τα δείγματα δεν εμφανίζουν επιβαρυντικό φορτίο. Η σύγκριση στο σχήμα 9.8 μεταξύ των δύο περιόδων εμφανίζει αύξηση της E.C. την ξηρή περίοδο, γεγονός που σχετίζεται με την επιβάρυνσή τους από τις γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες. Η χωρική ολοκλήρωση των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την υγρή και την ξηρή περίοδο αντίστοιχα παρουσιάζεται στα σχήματα 9.9 και 9.10. Παρατηρούνται υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο κεντρικό πεδίο της λεκάνης Ξυνιάδας και στο βορειανατολικό κομμάτι της λεκάνης Σκοπιάς που σχετίζονται με τις γεωργικές πρακτικές των περιοχών.

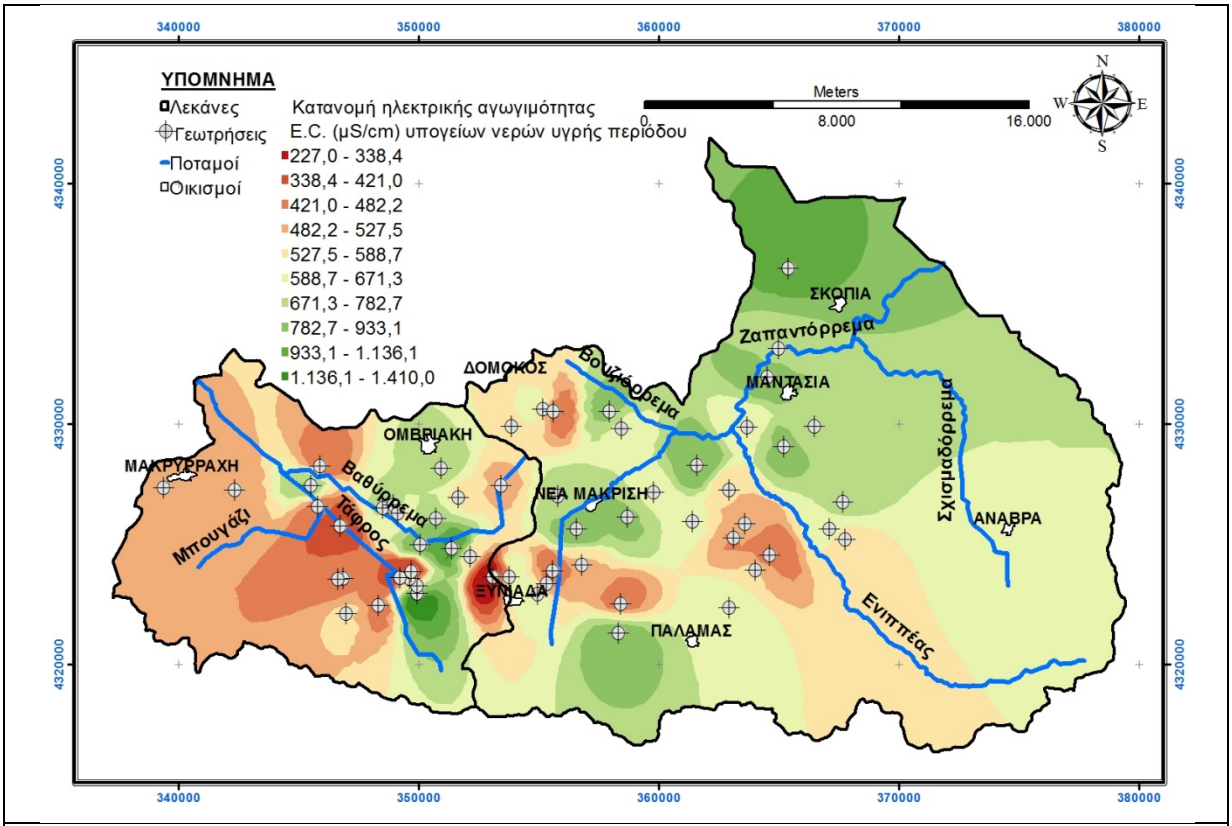


Σχήμα 9.8. Ιστόγραμμα σύγκρισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

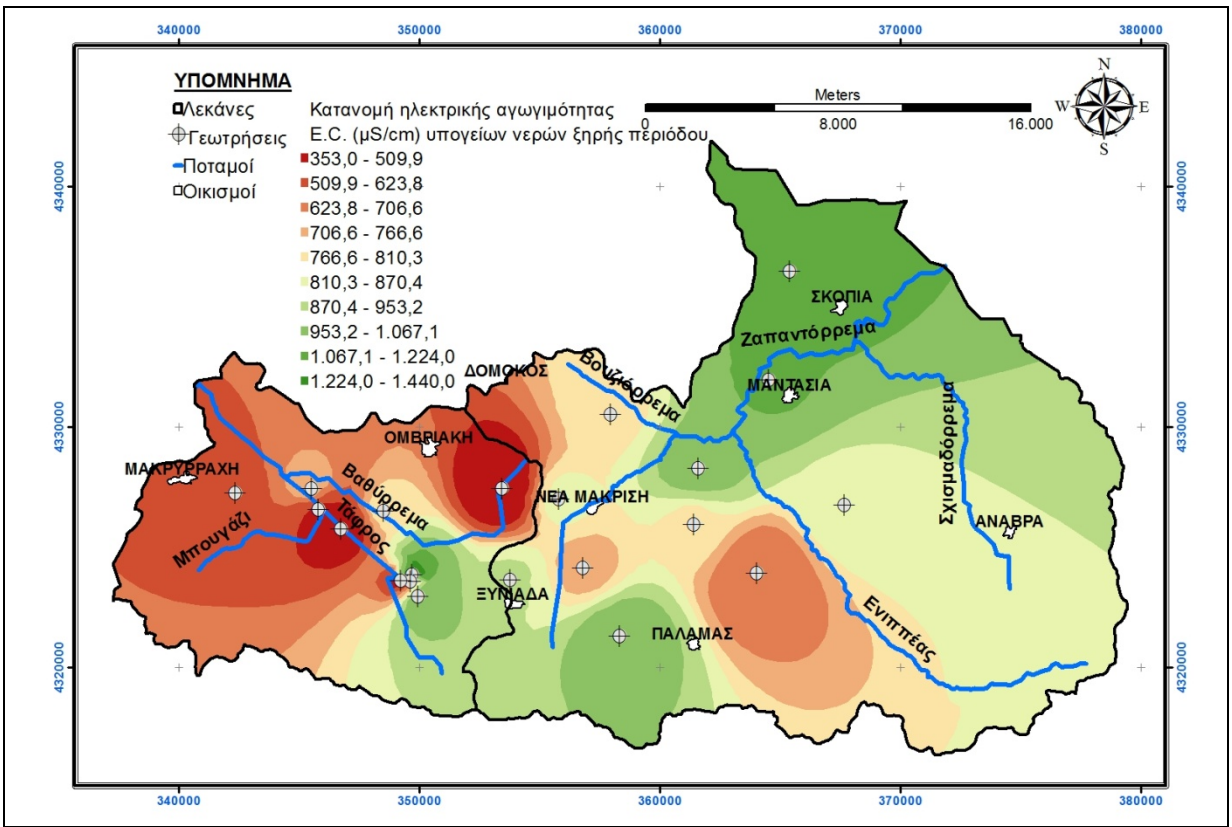
9.3.1.5 Συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Το σύνολο των διαλυμένων στερεών T.D.S. (Total Dissolved Solids) είναι η συνολική συγκέντρωση διαλυμένων στο νερό αλάτων. Στο φυσικό υπόγειο νερό, λόγω του μικρού χρόνου παραμονής του στο υπέδαφος, η τιμή των T.D.S. είναι μικρότερη από 500 mg/l. Τα διαλυτά συστατικά των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κινείται το υπόγειο νερό το εμπλουτίζουν σε άλατα. Επιπλέον οι μεγάλες διακυμάνσεις της συγκέντρωσης T.D.S. κύρια οφείλονται στις μεταβολές της συγκέντρωσης Na και Cl, θαλάσσιας προέλευσης, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές (*Καλλέργης* 2000).

Το T.D.S. μπορεί να αυξηθεί επίσης με την εξάτμιση του νερού και τη διάλυση των ορυκτών υλών, εκτός από τις διάφορες χημικές αντιδράσεις. Η συγκέντρωση από την εξάτμιση είναι λειτουργική κυρίως στη ζώνη εδάφους-υγρασίας και μεταξύ των επεισοδίων βροχής. Στη ζώνη αυτή, λόγω της εξάτμισης του νερού της βροχής, αυξάνει η συγκέντρωση



Σχήμα 9.9. Χωρική ολοκλήρωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.10. Χωρική ολοκλήρωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

αλάτων και τα διαλυμένα άλατα ξεπλένονται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα από μεταγενέστερες βροχές. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία και όσο μεγαλύτερη είναι η

περίοδος μεταξύ των επεισοδίων βροχής, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συγκέντρωσης των αλάτων στα υπόγεια ύδατα (*Toth* 1999).

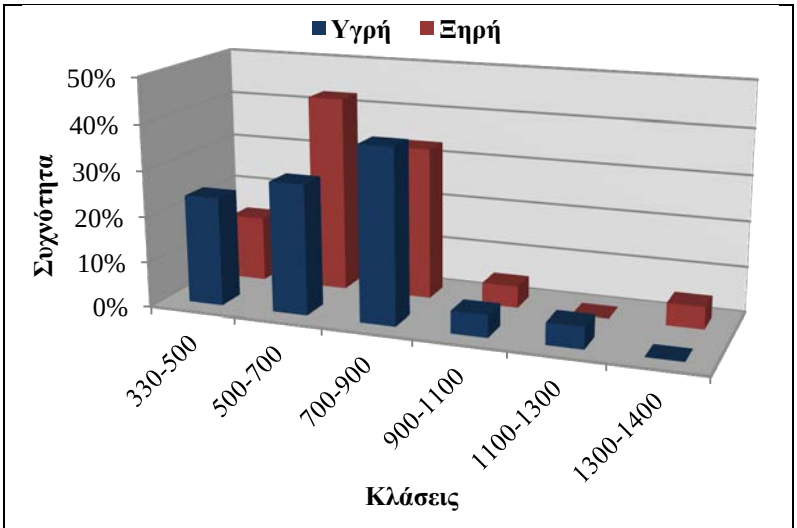
Το T.D.S. αποτελεί ένα δείκτη της μεταλλικότητας των υπόγειων νερών και συνδέεται με την αγωγιμότητα με τη σχέση:

$$T.D.S.=A*EC\ (\mu S/cm)\ \text{όπου}\ A=0,65$$

Αν οι τιμές του T.D.S. κυμαίνονται μεταξύ 0-1.000 mg/l το νερό είναι γλυκό (fresh), μεταξύ 1.000-10.000 mg/l θεωρείται υφάλμυρο (brackish), μεταξύ 10.000-100.000 mg/l (salt or saline) και για τιμές μεγαλύτερες των 100.000 mg/l υπεραλμυρό (brine) (*Βουδούρης* 2009).

Για τον υπολογισμό των T.D.S. στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας προστέθηκαν οι τιμές όλων των ιόντων του πίνακα 9.2. Η διακύμανση των T.D.S. στα δείγματα υπόγειων νερών είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 245,5 έως 1.273 με μέση τιμή 615,6 και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 396 έως 1.428,5 με μέση τιμή 739,1 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 638 έως 908 με μέση τιμή 773 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των T.D.S. είναι 580 και 1.035 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 755,6. Στην ξηρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι από 715,5 έως 907,5 με μέση τιμή 825,1 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο οι τιμές των T.D.S. κυμαίνονται από 350,5 έως 777 mg/l με μέση τιμή 601,1 ενώ η τιμή των T.D.S. για τη γεώτρηση της ξηρής περιόδου είναι 747 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 433 έως 759 με μέση τιμή 594,3 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 584,5 έως 706,5 με μέση τιμή 631,5 mg/l.



Σχήμα 9.11. Ιστόγραμμα σύγκρισης των συνολικών διαλυμένων στερεών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

Η μεγάλη πλειοψηφία των δειγμάτων παρουσιάζει σχετικά χαμηλές τιμές T.D.S. (<1000 mg/l) και μόνο η πηγή Π12 στη Σκοπιά και οι γεωτρήσεις Γ18 και Γ22 υγρής και ξηρής περιόδου αντίστοιχα παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές αυτού του ορίου. Στις περιπτώσεις αυτές οι υψηλές τιμές των T.D.S. συνδέονται με την υψηλή περιεκτικότητα των δειγμάτων νερού σε Ca^{2+} και HCO_3^- που οφείλονται στη διάλυση των ανθρακικών αλάτων (*Καλλέργης* 2000, *Appello and Postma* 2005). Αντίθετα, στα νερά των πηγών των ανθρακικών

σχηματισμών Π6, Π7 και Π8 τα T.D.S. κινούνται σε χαμηλότερα επίπεδα. Αυτό προφανώς συμβαίνει γιατί στα καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα το νερό κινείται δια μέσου σχισμών και εγκοίλων (*Στουρνάρας* 2007) και έρχεται σε επαφή με μικρότερη επιφάνεια των πετρωμάτων, με αποτέλεσμα τη μικρότερη διάλυση των διαφόρων αλάτων.

Από το σύνολο των γεωτρήσεων, οι συγκεντρώσεις των T.D.S. είναι υψηλότερες στα αλλούβια σε σχέση με τους άλλους σχηματισμούς εξαιτίας της εύκολης διάλυσης των ιζηματογενών πετρωμάτων. Η σύγκριση υγρής και ξηρής περιόδου εμφανίζει αύξηση στις τιμές των T.D.S., καθώς το ξηρό κλίμα και οι καλλιεργητικές πρακτικές αυξάνουν τις τιμές T.D.S. στα υπόγεια νερά, ενώ μπορούν επίσης να αυξήσουν και τις συγκεντρώσεις μερικών διαλυμένων ουσιών (Σχήμα 9.11).

Στα σχήματα 9.12 και 9.13 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συνολικών διαλυμένων στερεών. Η χωρική διαφοροποίηση που παρατηρείται σχετίζεται με την κατά τόπους λιθολογία, με το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα και ιδιαίτερα με τις επιφανειακές επιδράσεις, όπως είναι οι διαφορετικές καλλιεργητικές τεχνικές. Γενικά παρουσιάζεται αύξηση των τιμών των T.D.S. ανάλογα με το βάθος ανάπτυξης του υδροφόρου, εξαιτίας της μειούμενης κυκλοφορίας του υπόγειου νερού, του χρόνου παραμονής του νερού στο υδροφόρο σύστημα και της αυξανόμενης αλληλεπίδρασης νερού-εδάφους (*Καλλέργης* 2000, *Βουδούρης* 2009).

9.3.1.6 Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο είναι η ποσότητα του μοριακού οξυγόνου που είναι διαλυμένο στο νερό και η παρουσία του υποδεικνύει την πρόσφατη έκθεση του νερού στην επίδραση της ατμόσφαιρας. Ο εμπλουτισμός του νερού σε οξυγόνο γίνεται μέσω διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό και μέσω της φωτοσύνθεσης.

Το νερό των κατακρημνισμάτων που κατεισδύει στον υδροφόρο ορίζοντα είναι κορεσμένο σε οξυγόνο και αποτελεί οξειδωτικό παράγοντα. Όμως κατά την διέλευσή του από την ακόρεστη ζώνη, λόγω της κατανάλωσής του στις οξειδωτικές διεργασίες που συμμετέχει, μειώνεται σημαντικά η συγκέντρωσή του. Κατά κανόνα η μείωση με το βάθος είναι εκθετική και σπάνια συναντάται διαλυμένο οξυγόνο στο υπόγειο νερό σε βάθη μεγαλύτερα των 20 μέτρων από την υδροστατική επιφάνεια (*Καλλέργης* 2000). Διαδικασίες κατανάλωσης οξυγόνου όπως η μικροβιακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης, μπορούν να επιτρέψουν την εμφάνιση ζωνών αναγωγής, στις οποίες τα βαρέα μέταλλα καθιζάνουν σαν ενώσεις του θείου, όταν το θείο είναι παρόν. Σε υπόγειες διαδρομές, όταν η προμήθεια οξυγόνου υπερβαίνει την κατανάλωση του, τα αναγόμενα ανόργανα συστατικά οξειδώνονται και καθιζάνουν τα ελάχιστα διαλυτά οξείδια και υδροξείδια σιδήρου και μαγνησίου (*Στουρνάρας* 2007).

Το οξυγόνο παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό η οποία κυμαίνεται από 6 έως 15 ppm, και γενικά η περιεκτικότητα του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό εξαρτάται από:

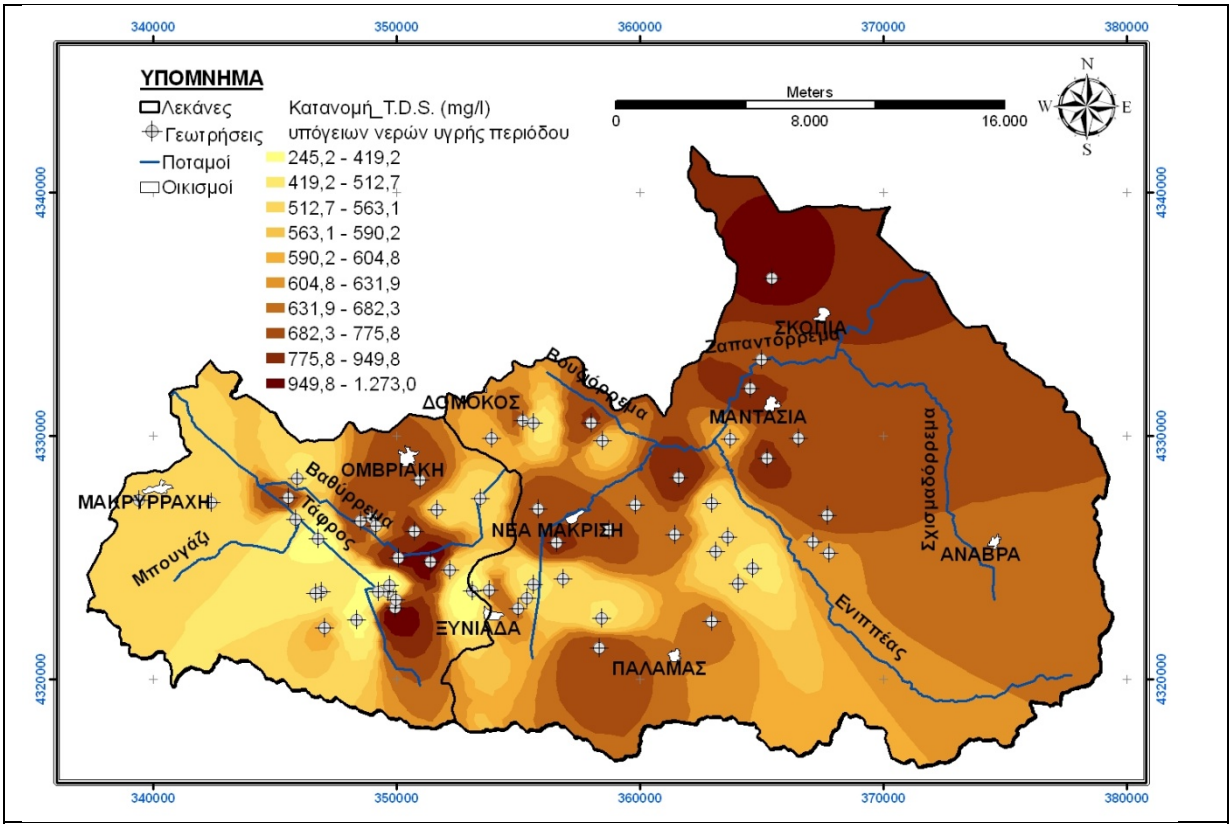
α) Τη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του νερού τόσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο.

β) Την ποσότητα της οργανικής ύλης η οποία αποσυντίθεται στο νερό.

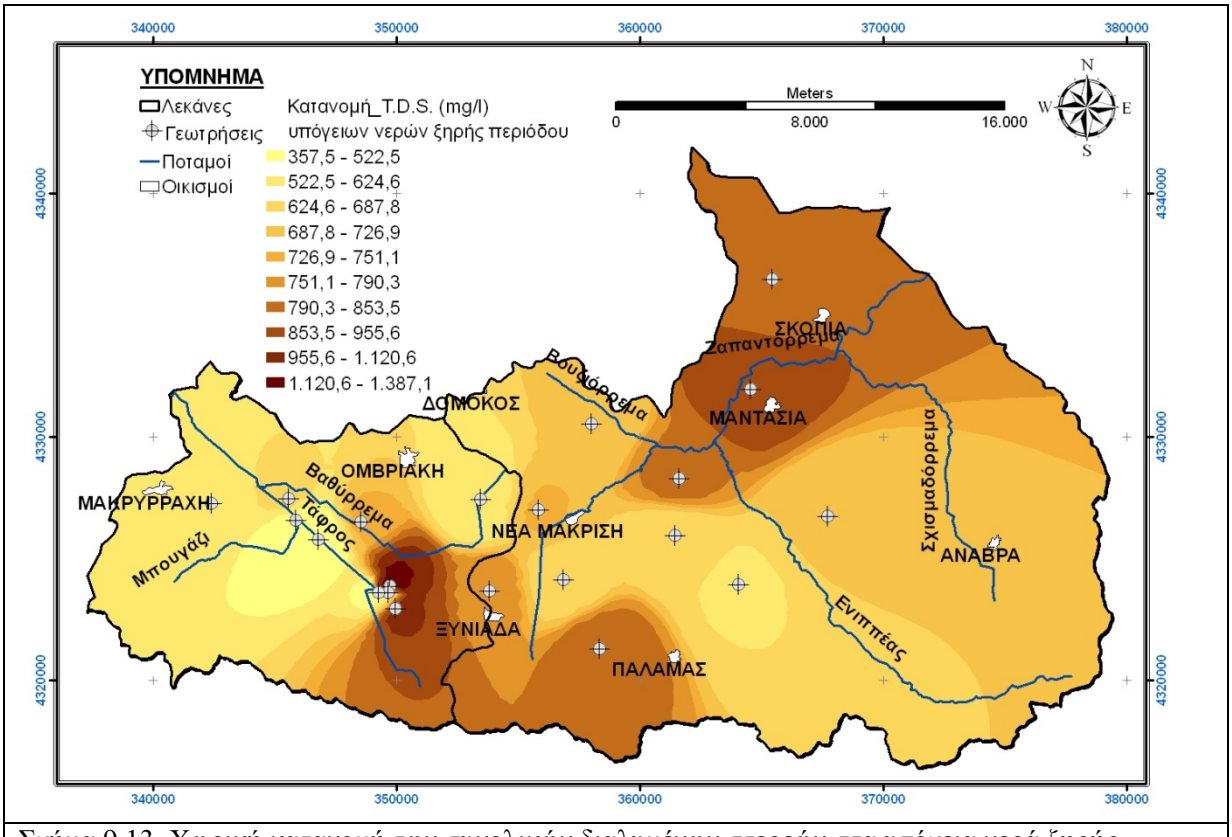
γ) Την παρουσία ή απουσία φυτών (μικροσκοπικών και μακροσκοπικών) τα οποία μπορούν να κάνουν φωτοσύνθεση.

δ) Το βαθμό της διείσδυσης του φωτός, που εξαρτάται από το βάθος (*Βουδούρης* 2009).

Η περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο πρέπει να είναι στο σημείο κορεσμού, δηλ. 100%, οπότε το νερό έχει ευχάριστη γεύση. Δεν έχουν αναφερθεί επιπτώσεις στην υγεία που να συνδέονται άμεσα με την ελάττωση ή την έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου στο πόσιμο νερό. Υπάρχουν όμως κάποιες έμμεσες επιπτώσεις: διαβρώνονται οι σωληνώσεις με αποτέλεσμα να αυξάνεται η περιεκτικότητα του νερού σε μέταλλα (π.χ. σίδηρο, κάδμιο, ψευδάργυρο, μόλυβδο). Επίσης, δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες που βοηθούν την αναγωγή των νιτρικών σε νιτρώδη, των θειικών σε θειούχα, με συνέπεια τη δημιουργία



Σχήμα 9.12. Χωρική κατανομή των συνολικών διαλυμένων στερεών στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.13. Χωρική κατανομή των συνολικών διαλυμένων στερεών στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

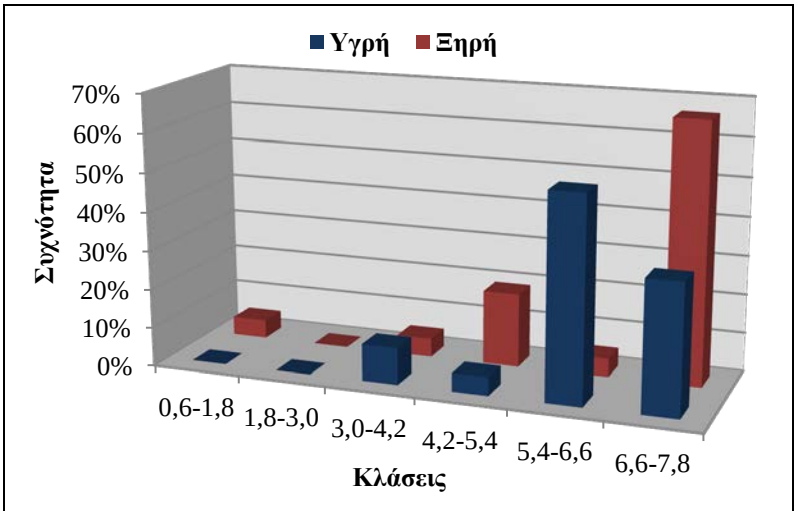
δυσάρεστων οσμών (*Παππά* 2001).

Στα δείγματα των υπόγειων νερών του οροπεδίου Δομοκού το διαλυμένο οξυγόνο (DO) κυμαίνεται:

- Για τις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 2,9 έως 8,4 mg/l με μέση τιμή 6,3 mg/l. Τα αντίστοιχα επίπεδα κορεσμού είναι 33% έως 104% με μέση τιμή 78,9%. Για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,7 mg/l έως 7,7 mg/l με μέση τιμή 6,2 mg/l και των επιπέδων κορεσμού από 4% έως 102% με μέση τιμή 80,2%.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 5,1 έως 5,5 mg/l με μέση τιμή 5,3 mg/l και η διακύμανση των επιπέδων κορεσμού είναι από 64% έως 70% με μέση τιμή 67%.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του DO είναι 3,1 και 7,2 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 6,0 mg/l, ενώ τα επίπεδα κορεσμού κυμαίνονται από 39% έως 95% και η μέση τιμή είναι 74,2%. Στην ξηρή περίοδο οι τιμές του διαλυμένου οξυγόνου των υπόγειων νερών στο σχηματισμό του Φλύσχη κυμαίνονται από 5 mg/l έως 7,1 mg/l με μέση τιμή 6,3 mg/l και η αντίστοιχη διακύμανση στα επίπεδα κορεσμού είναι από 75% έως 93% με μέση τιμή 85%.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το DO κυμαίνεται από 6,1 έως 7,3 mg/l και η μέση τιμή είναι 6,6 mg/l, ενώ τα επίπεδα κορεσμού κυμαίνονται από 70% έως 89% με μέση τιμή 79,2%. Στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του DO είναι 7,2 mg/l και το επίπεδο κορεσμού είναι 102%.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 3,1 έως 8,2 mg/l με μέση τιμή 6,7 mg/l και στα επίπεδα κορεσμού από 37% έως 100% με μέση τιμή 74,7%. Για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 4,2 mg/l έως 7,8 mg/l με μέση τιμή 5,7 mg/l και των επιπέδων κορεσμού από 53% έως 98% με μέση τιμή 71%.

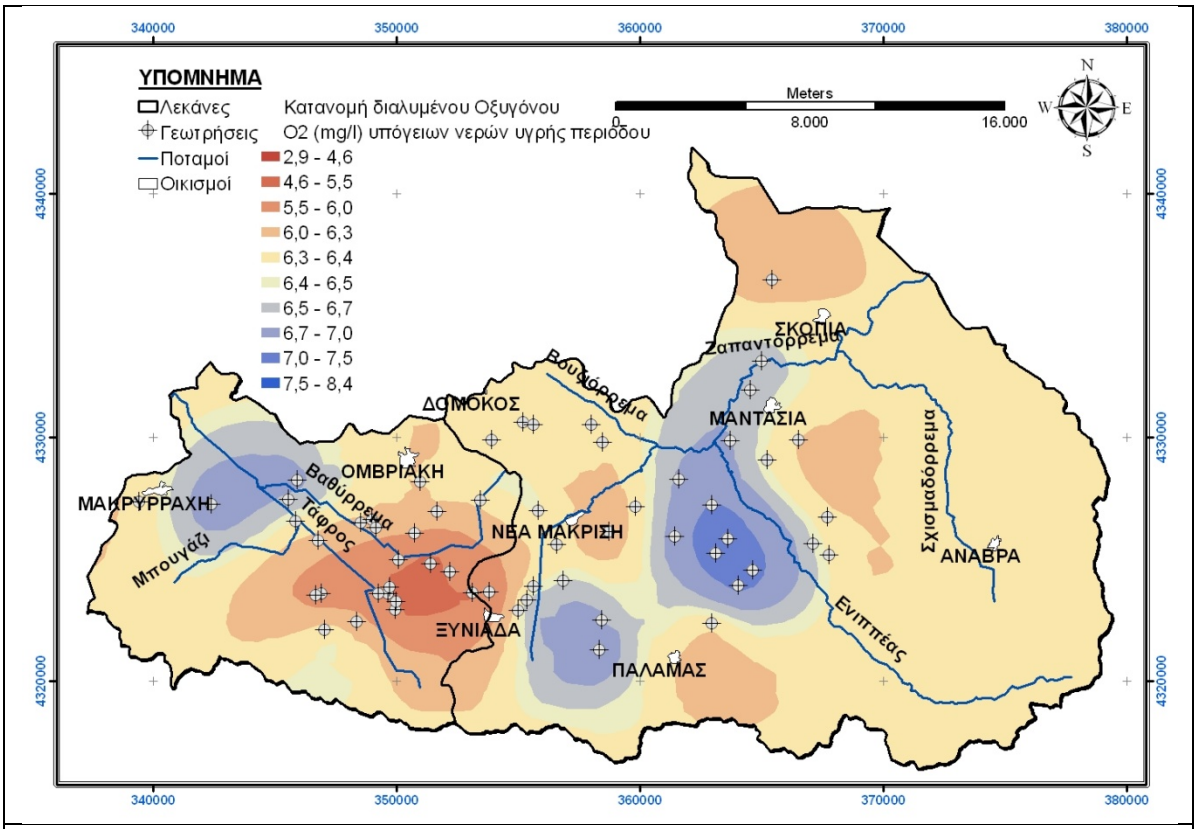
Η διαφοροποίηση των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου από την υγρή στην ξηρή περίοδο έχει σχέση, στις περισσότερες των περιπτώσεων, με τη θερμοκρασία των νερών, καθώς είναι γνωστό ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν την διαλυτότητα των αερίων (Σχήμα 9.14). Υπάρχουν ωστόσο και γεωτρήσεις στις οποίες οι οξειδωτικές διεργασίες από την παρουσία οργανικών έχουν καταναλώσει το διαλυμένο οξυγόνο του νερού. Το γεγονός διαπιστώνεται από τα χαμηλά επίπεδα κορεσμού του και από τις χαμηλές τιμές του Eh.

Η χωρική κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στα σχήματα 9.15 και 9.16. Διαπιστώνεται και για τις δύο περιόδους χαμηλά επίπεδα του διαλυμένου οξυγόνου στο κεντρικό σημείο της λεκάνης Ξυνιάδας, που σχετίζονται με την υψηλή θερμοκρασία του νερού και τα υψηλά επίπεδα οργανικών της



Σχήμα 9.14. Ιστόγραμμα σύγκρισης του διαλυμένου οξυγόνου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

πρώην λίμνης. Τα νερά άλλωστε που είναι σε επαφή με αναγωγικές ουσίες όπως η τύρφη, οι λιγνίτες και οι άνθρακες στερούνται οξυγόνου και περιέχουν H_2S εξαιτίας της αναγωγής των θεϊκών (*Λαμπράκης* 1999). Στα δείγματα των πηγών Π2 και Π4 (5,1 mg/l), Π5 (3,1 mg/l), Π10 (3,6 mg/l) και Π12 (3,1 mg/l) οι χαμηλές τιμές οξυγόνου φανερώνουν έντονα ρυπασμένα με οργανικές ουσίες νερά. Το γεγονός δεν παρατηρείται στις πηγές στο νοτιοανατολικό τμήμα, οι οποίες λόγω του μικρού ρυπαντικού φορτίου και της χαμηλής θερμοκρασίας του νερού εμφανίζουν μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο.



Σχήμα 9.15. Χωρική κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

9.3.1.7 Διοξείδιο άνθρακα (CO_2)

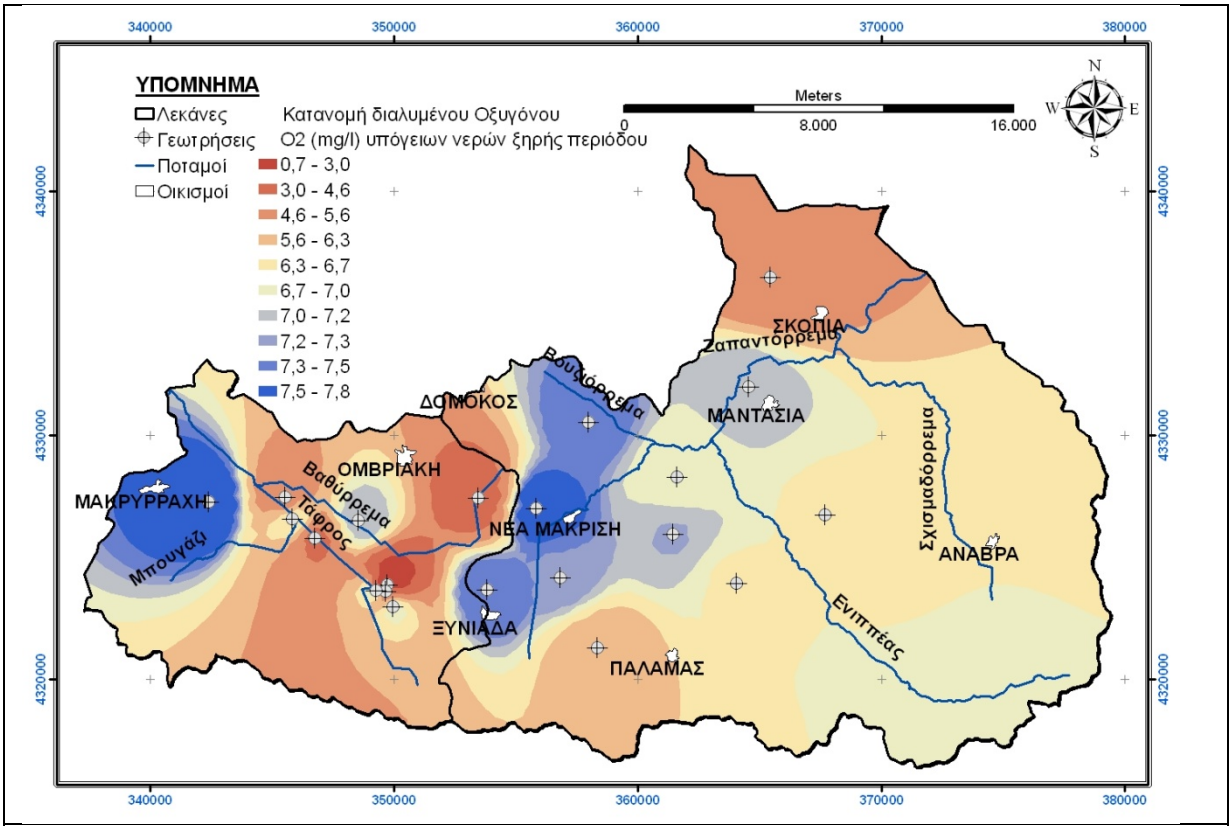
Το CO_2 που περιέχουν τα υπόγεια νερά προέρχεται είτε από το βρόχινο νερό το οποίο είναι CO_2 ατμοσφαιρικής προέλευσης, είτε είναι διοξείδιο του άνθρακα που προσλαμβάνεται από το νερό στο έδαφος, με την αποσύνθεση οργανικής ύλης. Η αποικοδόμηση οργανικής ύλης είναι αντίδραση οξειδωτικής φύσης από την οποία παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό, ενώ συνθήκες απουσίας οξυγόνου και παρουσία βακτηρίων το οργανικό φορτίο μετατρέπεται σε μεθάνιο.

Το CO_2 των υπόγειων νερών αντιδρά με το νερό και παράγει ανθρακικό οξύ (H_2CO_3) το οποίο παρέχει H^+ ενώνεται με τα ανθρακικά ιόντα (CO^{2-}_3) και δίνουν δισανθρακικά ιόντα (HCO^-_3) (*Appello and Postma* 2005). Αναλυτικά το H_2CO_3 το οποίο διίσταται σε δύο φάσεις:

$$H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO^-_3 \text{ και } HCO^-_3 \rightarrow H^+ + CO^{2-}_3$$

Ανάλογα με το pH οι μορφές του CO_2 που απαντούν στο εδαφικό νερό είναι: H_2CO_3, HCO^-_3 και CO^{2-}_3. Όταν το διοξείδιο του άνθρακα διαλυθεί στο νερό πέρα από τις παραπάνω μορφές συνυπάρχουν και τα H^+ και OH^- (*Καλλέργης* 2000). Το CO_2 επιπλέον λειτουργεί σαν οξύ και διαλυτοποιεί τα πετρώματα, με το μεγαλύτερο μέρος των ανθρακικών και δισανθρακικών ιόντων στα υπόγεια νερά, να προέρχεται από την διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων.

Τα υπόγεια καρστικά έγκοιλα όπως τα σπήλαια, δημιουργούνται λόγω μεταφοράς CO_2



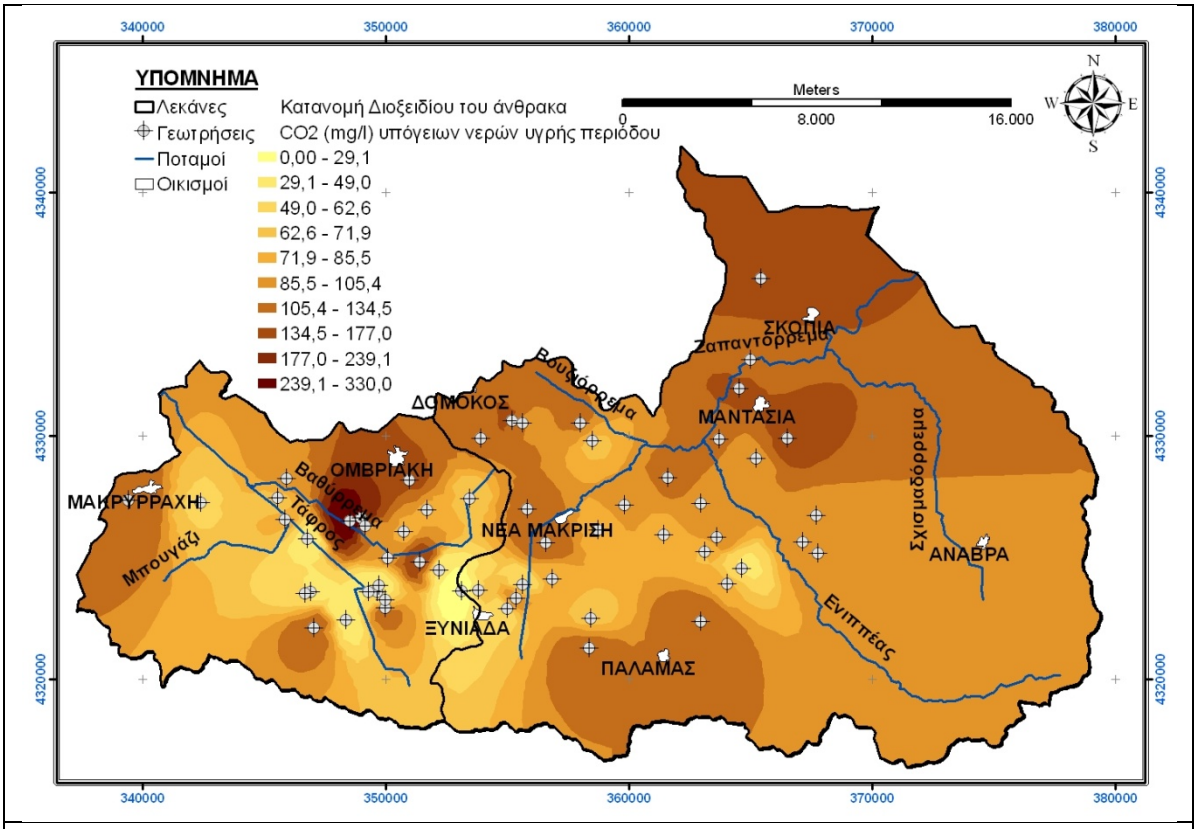
Σχήμα 9.16. Χωρική κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

προς τα κάτω μαζί με το νερό που προκαλεί διεύρυνση των ρωγμών και των καρστικών αγωγών. Η απελευθέρωση CO_2 από το νερό που εισέρχεται αργότερα στο σπήλαιο και έχει ήδη προκαλέσει τη διάλυση ασβεστίτη, έχει ως αποτέλεσμα την απόθεση ασβεστίτη με τη μορφή σταλακτικών και σταλαγμιτών (*Καλλέργης* 2000). Οι τιμές διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στα δείγματα νερών κυμαίνονται:

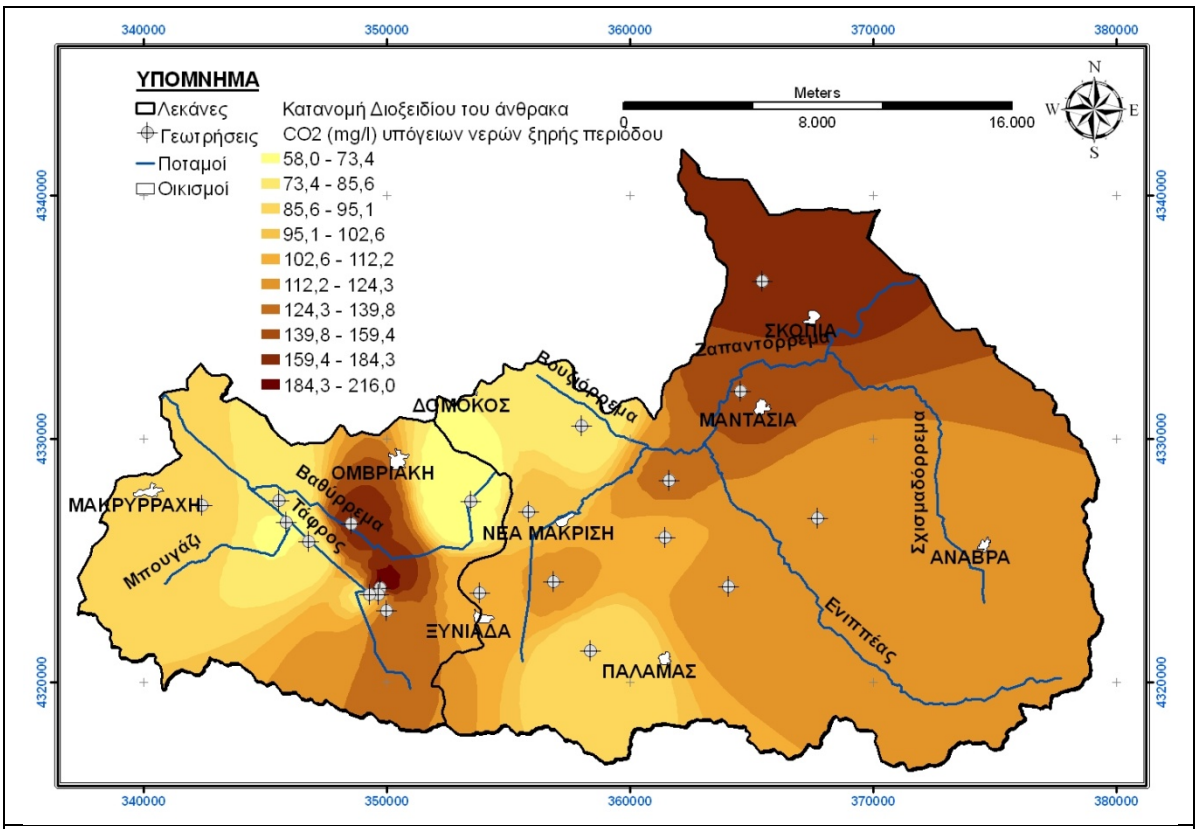
- Για τις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0 έως 176 mg/l με μέση τιμή 78 mg/l. Για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 71 mg/l έως 216 mg/l με μέση τιμή 108,5 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του Νεογενούς από 134 έως 137 mg/l με μέση τιμή 135,5 mg/l.
- Στο Φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του CO_2 είναι 90 και 230 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 136,1 mg/l ενώ στην ξηρή περίοδο οι τιμές του CO_2 κυμαίνονται από 116 mg/l έως 173 mg/l με μέση τιμή 143,7 mg/l.
- Στους Ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το CO_2 κυμαίνεται από 60 έως 330 mg/l και η μέση τιμή είναι 149,9 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του CO_2 είναι 164 mg/l.
- Στους Οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 41 έως 145 mg/l με μέση τιμή 89 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 58 έως 93 mg/l με μέση τιμή 75,7 mg/l.

Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι στα δείγματα νερού των πηγών Π2, Π4, Π5, Π10 και Π12 και των γεωτρήσεων Γ27, Γ30 και Γ39 το διαλυμένο CO_2 έχει υψηλές τιμές με τις αντίστοιχες τιμές του διαλυμένου οξυγόνου να κινούνται σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει λόγω οξείδωσης του οργανικού φορτίου που οδηγεί σε παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και η οποία τελικά αφαιρεί οξυγόνο από το σύστημα, χωρίς να αποκλείεται και η ανάμιξη νερών από μεγαλύτερα βάθη.

Στα σχήματα 9.17 και 9.18 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα. Στο χάρτη υγρής περιόδου διακρίνεται το ίδιο κέντρο χαμηλών τιμών CO_2



Σχήμα 9.17. Χωρική κατανομή του διοξειδίου του άνθρακα στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.18. Χωρική κατανομή του διοξειδίου του άνθρακα στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας με τον αντίστοιχο χάρτη χωρικής κατανομής διαλυμένου οξυγόνου που προφανώς σχετίζεται με οξείδωση οργανικού υλικού. Εξάλλου,

όταν το οξυγόνο δεν αναπληρώνεται, το σύστημα μετατρέπεται σε αναερόβιο. Αναπτύσσονται αναερόβιοι μικροοργανισμοί και η αποσύνθεση δίνει τελικά μεθάνιο (CH_4) αντί του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), με αποτέλεσμα τις χαμηλές τιμές του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης είναι η γεώτρηση Γ29 στην οποία η τιμή του CO_2 είναι μηδέν και στην οποία προφανώς υπερισχύει το μεθάνιο σε σχέση με το CO_2.

Στο χάρτη της χωρικής κατανομής της ξηρής περιόδου διακρίνονται περιοχές χαμηλών τιμών διαλυμένου CO_2 οι οποίες έχουν σχέση με το βάθος του υδροφόρου. Η μείωση της πίεσης που προκαλείται από την άντληση νερού στις υδρογεωτρήσεις οδηγεί στη μείωση του διαλυμένου CO_2, καθώς ο χημισμός του υπόγειου νερού στα μεγάλα βάθη επηρεάζεται από την πίεση και την θερμοκρασία (*Καλλέργης* 2000). Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι γεωτρήσεις Γ11, Γ37 και Γ40 στις οποίες και παρατηρείται μείωση των τιμών του CO_2 από την υγρή στην ξηρή περίοδο.

9.3.1.8 Σκληρότητα (^{o}dH)

Η σκληρότητα προέρχεται από την παρουσία στο υπόγειο νερό δισθενών μεταλλικών κατιόντων, κυρίως ασβεστίου και μαγνησίου, που αντιδρούν με το σαπούνι σχηματίζοντας ίζημα και μαζί με ορισμένα ανιόντα που βρίσκονται στο νερό δημιουργούν κρούστα (*Καλλέργης* 2000, *Μανδηλαράς* 2005, *Βουδούρης* 2009).

Η σκληρότητα διακρίνεται σε:

α) Παροδική ή ανθρακική σκληρότητα που προέρχεται από την παρουσία όξινων ανθρακικών αλάτων του Ca^{2+} και Mg^{2+}, δηλ. $Ca(HCO_3)_2$ και $Mg(HCO_3)_2$. Τα άλατα αυτά προέρχονται από τη διάλυση αλάτων Ca^{2+} και Mg^{2+}, που υπάρχουν στα διάφορα πετρώματα ή στο έδαφος μέσα από τα οποία διέρχεται το νερό. Η διάλυση αυτή διευκολύνεται από το CO_2 που ελευθερώνεται από τη βακτηριακή δράση σε οργανικές ουσίες του εδάφους ή προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Όταν το νερό θερμανθεί τα άλατα αυτά αποσυντίθεται στα αντίστοιχα ανθρακικά και πέφτουν ως ίζημα.

β) Μόνιμη σκληρότητα ή μη ανθρακική που προέρχεται από την παρουσία αλκαλικών γαιών, ενωμένων με το θειικό ιόν, το ιόν χλωρίου και το νιτρικό ιόν. Η κύρια πηγή των θειικών ιόντων είναι η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, εκτός και αν συμβαίνει απόθεση εβαποριτών.

γ) Ολική σκληρότητα (Total Hardness)**:** Είναι το άθροισμα της ανθρακικής και της μόνιμης σκληρότητας. Εκφράζεται σε ισοδύναμο $CaCO_3$ (mg/l), αλλά και σε βαθμούς σκληρότητας. Η ολική σκληρότητα (Total Hardness) δίνεται από τη σχέση:

$$TH=2,5*(Ca^{2+})+4,1*(Mg^{2+})$$

αν οι περιεκτικότητες των ιόντων είναι εκφρασμένες σε mg/l και $TH=50*(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ αν είναι εκφρασμένες σε meq/L (*Λαμπράκης* 1999, *Βουδούρης* 2009).

Μεγάλες τιμές σκληρότητας δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, αντιθέτως έχει βρεθεί σημαντική συσχέτιση μεταξύ αυξημένης σκληρότητας και μείωσης των καρδιαγγειακών παθήσεων. Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l $CaCO_3$ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80 και 150 (*Καλλέργης* 2000, *Παππά* 2001).

Η ταξινόμηση κατά *Hölting* (1980) της σκληρότητας των νερών, σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, κατά τις οποίες ο Γερμανικός βαθμός ισοδυναμεί με 17,86 mg/l $Ca(HCO_3)_2$, δίνεται στον πίνακα 9.3 (*Σούλιος* 2006).

Ολική σκληρότητα

Στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας η διακύμανση της ολικής σκληρότητας αναλυτικά είναι:

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 2,2 έως 43,0 ^{o}dH με μέση τιμή 19,2 και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 8,8 ^{o}dH έως 37,1 με μέση τιμή 21,8 ^{o}dH. Τα νερά αυτά και για δύο περιόδους χαρακτηρίζονται σκληρά.

- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 21,6 έως 33,7 ^{o}dH με μέση τιμή 27,6 ^{o}dH και χαρακτηρίζονται ως σκληρά.

Πίνακας 9.3. Ταξινόμηση κατά *Hölting* (1980) της σκληρότητας των νερών σύμφωνα με τις Γερμανικές προδιαγραφές.

Ολική σκληρότητα (^{o}dH)	Χαρακτηρισμός
< 4	Πολύ μαλακά
4 – 8	Μαλακά
8 – 12	Μέτρια
12 – 18	Σχεδόν σκληρά
18 – 30	Σκληρά
> 30	Πολύ σκληρά

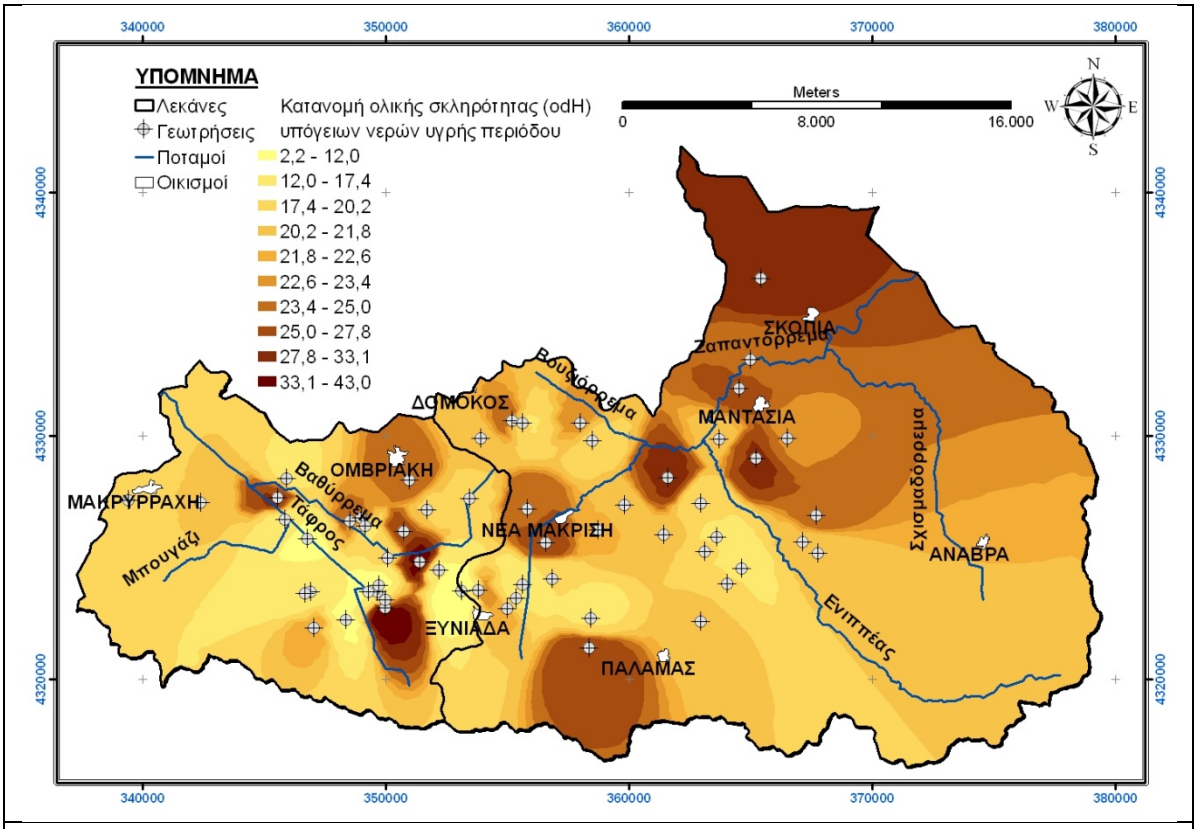
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της ολικής σκληρότητας είναι 18,7 και 36,9 ^{o}dH αντίστοιχα και η μέση τιμή 25,1. Στην ξηρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι από 23,6 έως 28,7 ^{o}dH με μέση τιμή 25,6 ^{o}dH. Τα νερά και για τις δύο περιόδους χαρακτηρίζονται σκληρά.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς οι τιμές ολικής σκληρότητας κυμαίνονται από 11,8 ^{o}dH έως 24,7 με μέση τιμή 19,9 ^{o}dH και χαρακτηρίζονται σαν σκληρά, ενώ η τιμή της ολικής σκληρότητας για τη γεώτρηση της ξηρής περιόδου είναι 23,5 ^{o}dH και χαρακτηρίζεται σαν σκληρό νερό.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 11,8 έως 28,4 με μέση τιμή 21,3 ^{o}dH. Στην ξηρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι από 19,1 έως 22,8 ^{o}dH με μέση τιμή 20,7 ^{o}dH. Τα νερά και για τις δύο περιόδους χαρακτηρίζονται σκληρά.

Τα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων του οροπεδίου Δομοκού και για τις δύο περιόδους χαρακτηρίζονται στη μεγάλη τους πλειοψηφία σκληρά, καθώς 39 από τα δείγματα υγρής περιόδου και 15 της ξηρής έχουν τιμές ολικής σκληρότητας από 18 έως 30 ^{o}dH. Τιμές >30 ^{o}dH εμφανίζουν μόνο ένα δείγμα της υγρής και δύο δείγματα της ξηρής περιόδου. Η χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας των νερών των γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας παρουσιάζεται στα σχήματα 9.19 και 9.20. Διαπιστώνεται και για τις δύο περιόδους, υψηλές τιμές ολικής σκληρότητας σε περιοχές που σχετίζονται με τη φύση των αποθέσεων των λεκάνης. Αλλουβιακά και νεογενή ιζήματα ασβεστολιθικής κατά κανόνα προέλευσης και ανθρακικοί σχηματισμοί παίζουν το βασικό ρόλο των υψηλών γεωγενούς προέλευσης τιμών σκληρότητας. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από το γεγονός ότι στις περιοχές εντατικής γεωργικής εκμετάλλευσης οι τιμές της ολικής σκληρότητας είναι χαμηλότερες.

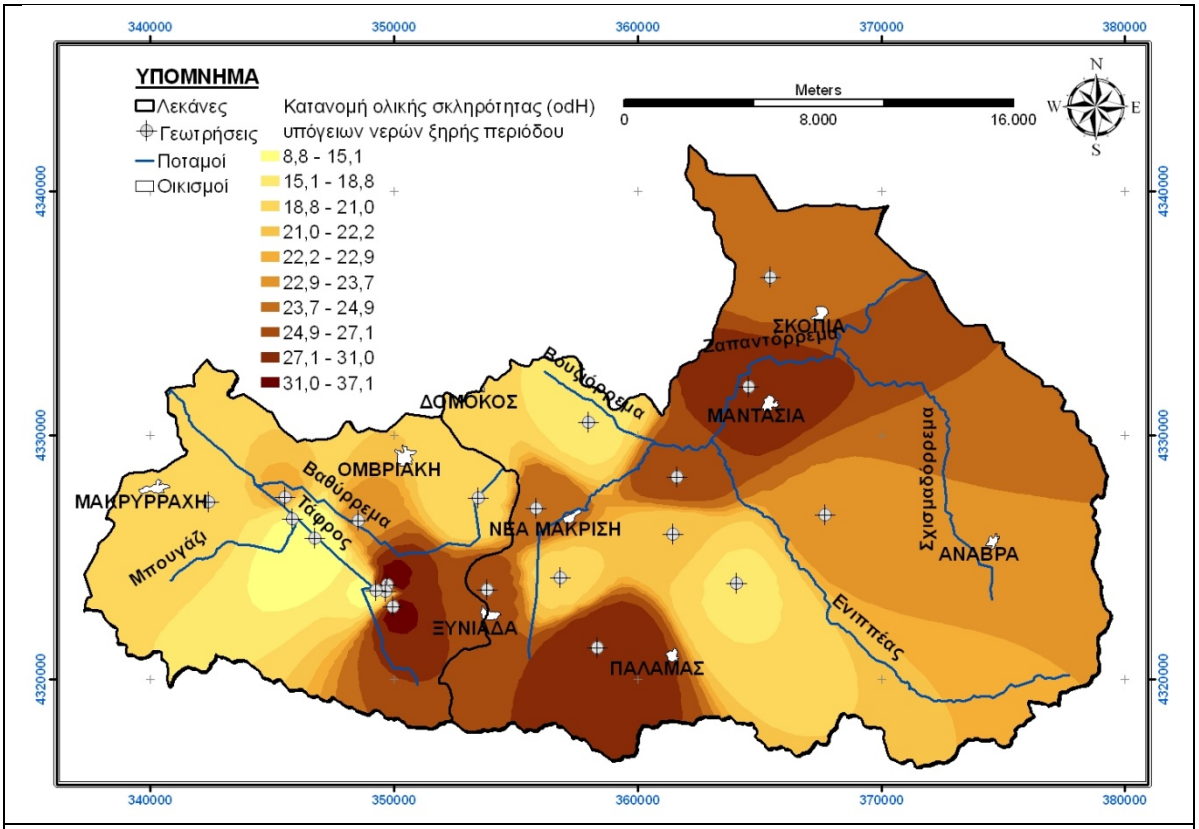
Μόνιμη σκληρότητα**:**

Η διακύμανση της μόνιμης σκληρότητας στα υπόγεια νερά αναλυτικά είναι:

- Στις αλλουβιακές αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,0 έως 19,8 ^{o}dH με μέση τιμή 3,0 και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,0 ^{o}dH έως 11,0 με μέση τιμή 3,0 ^{o}dH.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 4,8 έως 11,9 ^{o}dH με μέση τιμή 8,3 ^{o}dH.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή της μόνιμης σκληρότητας είναι 0,0 και 15,9 ^{o}dH αντίστοιχα και η μέση τιμή 6,1. Στην ξηρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι από 5,7 έως 8,5 ^{o}dH με μέση τιμή 7,1 ^{o}dH.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς οι τιμές για την υγρή περίοδο κυμαίνονται από 0,0 ^{o}dH έως 7,3 με μέση τιμή 2,1 ^{o}dH, ενώ η τιμή της μόνιμης σκληρότητας για την γεώτρηση της ξηρής περιόδου είναι 0,5 ^{o}dH.
- Στους οφιόλιθους για τη υγρή περίοδο η διακύμανση της μόνιμης σκληρότητας είναι από 0,0 έως 11,6 με μέση τιμή 2,8 ^{o}dH και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση των τιμών είναι από 0,6 έως 6,0 ^{o}dH με μέση τιμή 2,9 ^{o}dH.



Σχήμα 9.19. Χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.20. Χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Η μεγάλη πλειοψηφία των δειγμάτων εμφανίζει τιμές κάτω από 10 ^{o}dH και μόνο τέσσερα από τα δείγματα των γεωτρήσεων υγρής περιόδου, ένα της ξηρής και τρία δείγματα πηγών

έχουν μεγαλύτερες τιμές. Οι μεγαλύτερες τιμές της μόνιμης σκληρότητας σχετίζονται με την παρουσία στα νερά της θειικής ρίζας (SO_4^{-2}). Λόγω της ορυκτολογικής σύστασης των περιοχών εμφάνισης είτε λόγω του οργανικού υλικού (τύρφη) που είναι πλούσιο στα βαθύτερα αργιλικά στρώματα της τέως λίμνης Ξυνιάδας. Επιπλέον πιθανή θεωρείται η παρουσία εβαποριτών εντός των Νεογενών σχηματισμών (πηγή Π2) οι οποίοι είναι υπολείμματα των λιμναίων και ποταμοχερσαίων νεογενών ιζημάτων.

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, δεν θα πρέπει να αποκλειστεί και η οξείδωση διάσπαρτου σιδηροπυρίτη εντός των αργιλικών που μπορεί να προέρχεται από οφιολιθικά υπολείμματα. Η αντίδραση αυτή δίνει θειικά άλατα που μπορούν να οξειδωθούν προς υδροξείδιο του σιδήρου και H_2SO_4. Παρουσία $CaCO_3$ και $MgCO_3$ το H_2SO_4 σχηματίζει $CaSO_4$ και $MgSO_4$ (*Λαμπράκης* 1999). Ο σιδηροπυρίτης γενικά οξειδώνεται όταν εκτίθεται σε οξειδωτικό περιβάλλον και στη δράση του νερού. Παράγονται Fe^{+3} και SO_4^{-2}, ενώ από την απελευθέρωση H^+ δημιουργείται μείωση του pH (*Webb & Sasowsky* 1994, *Rose & Cravotta* 1998, *Massmann et al*. 2004). Πιθανό όμως είναι αυτή η μείωση του pH να μην είναι δραστική, καθώς η παρουσία ανθρακικών ιζημάτων βοηθά στην εξουδετέρωσή του (pH ≈7). Στην περίπτωση αυτή μόνο οι αυξημένες συγκεντρώσεις SO_4^{-2} καταδεικνύουν το φαινόμενο της οξείδωσης του σιδηροπυρίτη (*Καραπάνος* 2009).

9.3.2 Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία

9.3.2.1 Ασβέστιο (Ca^{2+})

Το ασβέστιο στα υπόγεια νερά προέρχεται από τη διάλυση ορισμένων ορυκτών πλούσιων σε Ca^{2+}, όπως ο ασβεστίτης ($CaCO_3$), ο δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$) και τα αργιλικά ορυκτά. Ακόμη προέρχεται από τη διάλυση πετρωμάτων όπως ο ασβεστόλιθος, οι άστριοι, ο γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι, τα κροκαλοπαγή, οι ασβεστολιθικοί ψαμμίτες καθώς και από ορυκτά της ομάδας του επίδοτου. Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του Ca^{2+} σε φυσικά μη ρυπασμένα νερά είναι 0,05-5 mmol/l (2,0-200 mg/l) (*Καλλέργης* 2000, *Appelo and Postma* 2005). Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Ca^{2+} στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα 36.200 mg/kg, στους αργίλους 22.400 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 22.500 mg/kg και 11.100 mg/kg στους εβαπορίτες (*Matthess* 1982). Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης Ca^{2+} στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε. (ΦΕΚ 53/20-2-1986) είναι 100 mg/l.

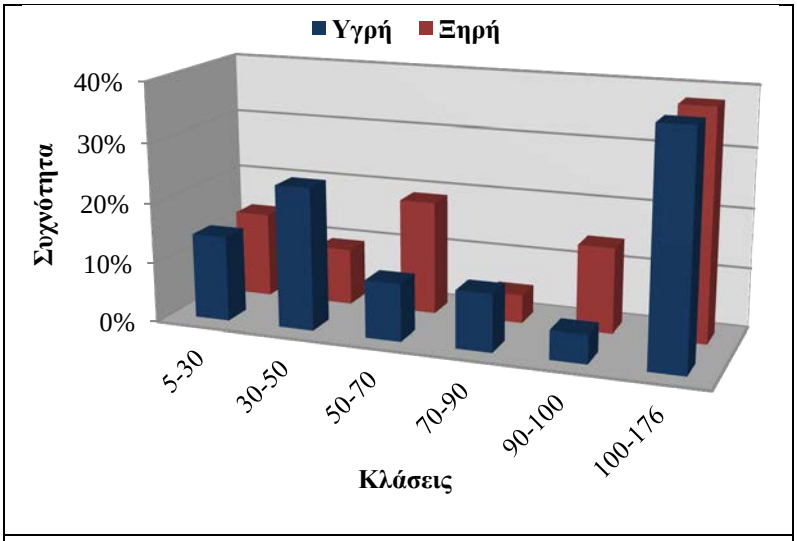
Το Ca^{2+} είναι βασικό στοιχείο για τον οργανισμό και μη τοξικό όταν λαμβάνεται από το στόμα. Το 99% περίπου του συνολικού ασβεστίου του σώματος βρίσκεται στο σκελετό και τα δόντια και το 1% στο αίμα και στους μαλακού ιστούς (*www.tjclarkinc.com/minerals*). Η ημερήσια ανάγκη για τον άνθρωπο εκτιμάται στα 800 mg. Πρόσληψη ασβεστίου πάνω από 1000 mg ανά ημέρα για μακρές περιόδους μπορεί να προκαλέσει μείωση του μαγνησίου στον ορό του αίματος. Αν αυτό συνδυαστεί με λήψη και υψηλής δόσης βιταμίνης D μπορεί να παρατηρηθεί αύξηση του ασβεστίου στο αίμα. Εν τούτοις εκτιμάται ότι παρατεταμένη χαμηλή λήψη ασβεστίου μπορεί να έχει μία συμμετοχή στην αιτιολογία της οστεοπόρωσης, ασθένειας που σχετίζεται με την απώλεια του ασβεστίου από τα οστά και προσβάλλει συνήθως τις ηλικιωμένες γυναίκες (*http://www.deyap.gr*).

Οι τιμές του Ca^{2+} στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας κυμαίνονται:

- Για τις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 4,8 έως 152,8 mg/l με μέση τιμή 75,6 mg/l. Για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 20 mg/l έως 138,4 mg/l με μέση τιμή 78,9 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 110,4 έως 168,0 mg/l με μέση τιμή 139,2 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Ca^{2+} είναι 104,8 και 215,2 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 141,2 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο οι τιμές του ασβεστίου κυμαίνονται από 135,2 mg/l έως 175,2 mg/l με μέση τιμή 153,6 mg/l.

- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Ca^{2+} κυμαίνεται από 75,2 έως 165,6 mg/l και η μέση τιμή ήταν 115,1 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του Ca^{2+} είναι 163,2 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 6,4 έως 96,0 mg/l με μέση τιμή 33,5 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 5,6 έως 51,2 mg/l με μέση τιμή 27,7 mg/l.

Η διακύμανση του Ca^{2+} για όλα συνολικά τα δείγματα είναι από 4,8 έως 215,2 mg/l, ενώ ποσοστό 40% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από το ενδεικτικό επίπεδο των 100 mg/l για τα πόσιμα νερά. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στα δείγματα από τα νεογενή, το φλύσχη και τους ανθρακικούς σχηματισμούς. Η προέλευση Ca^{2+} είναι κύρια γεωγενής χωρίς να αποκλείονται και οι ανθρωπογενείς επιδράσεις. Οφείλεται στην διάλυση των πλουσίων σε ασβέστιο ορυκτών που υπάρχουν εντός των σχηματισμών και στη χρήση λιπασμάτων που μέσω έκπλυσης φθάνουν στα κατώτερα στρώματα. Αντίθετα τα δείγματα από τους τεταρτογενείς αλλούβιους σχηματισμούς και τους οφιόλιθους παρουσιάζουν χαμηλές τιμές συγκέντρωσης Ca^{2+} εξαιτίας της μικρής περιεκτικότητας τους σε ασβέστιο. Εξαίρεση αποτέλεσαν οι γεωτρήσεις Γ4, Γ5, Γ11, Γ12, και Γ43 οι οποίες βρίσκονται στα περιθώρια της λεκάνης του οροπεδίου και τροφοδοτούνται από τις παρακείμενες ανθρακικές μάζες. Επιπλέον διαφοροποιήθηκαν οι γεωτρήσεις Γ18 και Γ31 των οποίων η τροφοδοσία συνδέεται με τον εντός της πρώην λίμνης Ξυνιάδας ανθρακικό σχηματισμό.

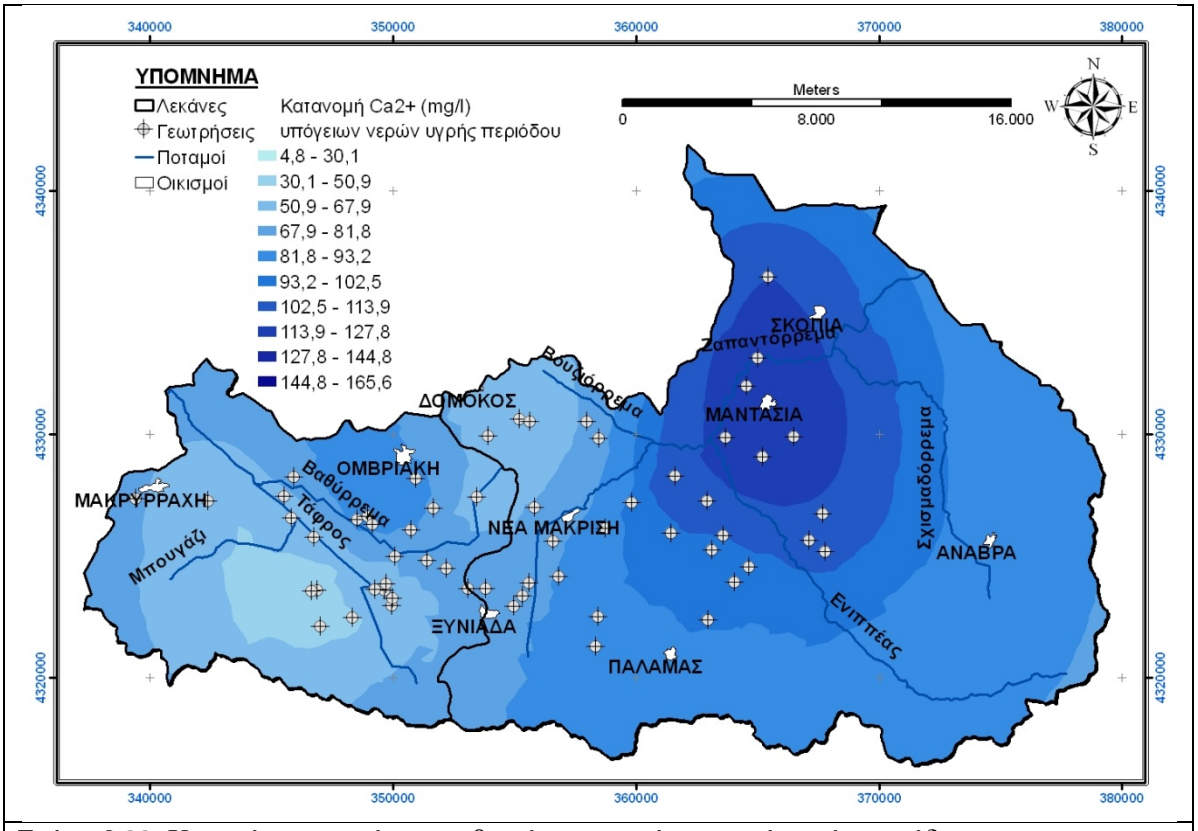


Σχήμα 9.21. Ιστόγραμμα σύγκρισης του ασβεστίου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

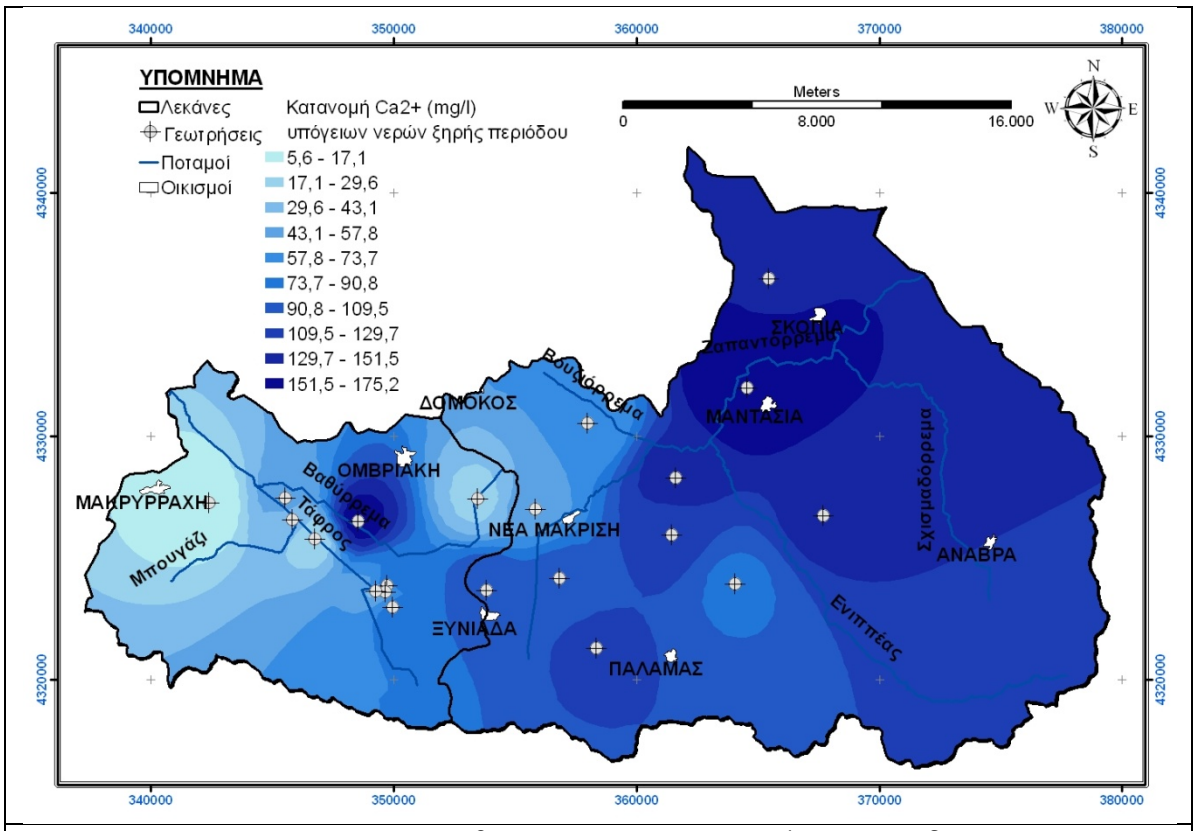
Από το σχήμα 9.21 διαπιστώνεται ότι δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις από την υγρή στην ξηρή περίοδο και ποσοστό 35% των δειγμάτων και για τις δύο περιόδους εμφανίζει τιμές πάνω από το ενδεικτικό επίπεδο των 100 mg/l της Ε.Ε. Η χωρική κατανομή του Ca^{2+} για την υγρή και την ξηρή περίοδο παρουσιάζεται στα σχήματα 9.22 και 9.23 αντίστοιχα. Δεν διαπιστώνεται διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο περιόδους και παρατηρούνται περιοχές υψηλών τιμών Ca^{2+} στους ανθρακικούς σχηματισμούς και στην περιοχή του φλύσχη στη λεκάνη Σκοπιάς στο βορειανατολικό μέρος του οροπεδίου. Το φαινόμενο σχετίζεται με τη χρήση λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται έντονα στις καλλιέργειες αγρωστωδών στην περιοχή.

9.3.2.2 Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Κύριες πηγές ύπαρξης του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι τα μαγνησιούχα ορυκτά όπως ο δολομίτης ($Ca,Mg(CO_3)_2$), ο μαγνησίτης ($MgCO_3$), ο ολιβίνης $(Mg,Fe)_2SiO_4$, ο



Σχήμα 9.22. Χωρική κατανομή του ασβεστίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.23. Χωρική κατανομή του ασβεστίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

καρναλίτης ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), οι σερπεντίνες, οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά. Τα πετρώματα που διακρίνονται για την υψηλή περιεκτικότητά

τους σε μαγνήσιο είναι οι δολομιτικοί ψαμμίτες, οι μαγνησιούχες και οι δολομιτικές μάργες. Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του Mg^{2+} σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,05-2 mmol/l (1,2-48,6 mg/l) (*Καλλέργης* 2000, *Appelo and Postma* 2005).

Το μαγνήσιο είναι το όγδοο ($8^{ο}$) κατά σειρά αφθονίας στο φλοιό της Γης (2% κατά βάρος), ενώ το κατιόν του μαγνησίου (Mg^{2+}) είναι το δεύτερο ($2^{ο}$) σε αφθονία κατιόν στο θαλασσινό νερό. Αυτό κάνει το θαλασσινό νερό μια ελκυστική εμπορικά πηγή παραγωγής μαγνησίου (*http://el.wikipedia.org*). Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Mg^{2+} στα διάφορα πετρώματα είναι: στα ανθρακικά πετρώματα 45.300 mg/kg, στα μαγματικά πετρώματα 17.600 mg/kg, στους αργίλους 16.400, στους ψαμμίτες 8.100 mg/kg και 3.070 mg/kg στους εβαπορίτες (*Matthess* 1982). Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων Mg^{2+} στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 30 mg/l, με μέγιστο επιτρεπτό όριο τα 50 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998).

Το μαγνήσιο είναι το ενδέκατο ($11^{ο}$) πιο άφθονο στοιχείο της μάζας του ανθρώπινου σώματος. Είναι ένα βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο καθώς παίζει σημαντικό ρόλο σε 300 τουλάχιστον θεμελιώδεις ενζυματικές αντιδράσεις. Συνδέεται με διεργασίες που χρειάζονται ενέργεια όπως η μεταβίβαση, η μυϊκή συστολή, η σύνθεση πρωτεϊνών, λιπών και νουκλεϊνικών οξέων και δρα ανταγωνιστικά του ασβεστίου καθώς αντιδρά με στοιχεία όπως το κάλιο, τη βιταμίνη Β6 και το βόριο (*www.tjclarkinc.com/minerals*). Το 60-70% της προσλαμβανόμενης από τον άνθρωπο ποσότητας μαγνησίου αποβάλλεται στα νεφρά και ταχύτατα από το συκώτι. Η ημερήσια δόση σε μαγνήσιο που συνιστάται από το τμήμα Τροφίμων και Διατροφής του Εθνικού Ερευνητικού Συμβουλίου των ΗΠΑ είναι 60 mg για νεογνά κάτω των 6 μηνών, 350 mg για ενήλικες μεγαλύτερους των 19 ετών και 450 mg για εγκυμονούσες ή θηλάζουσες γυναίκες (*http://www.deyap.gr*).

Η διακύμανση του Mg^{2+} στα υπόγεια νερά του οροπεδίου Δομοκού είναι:

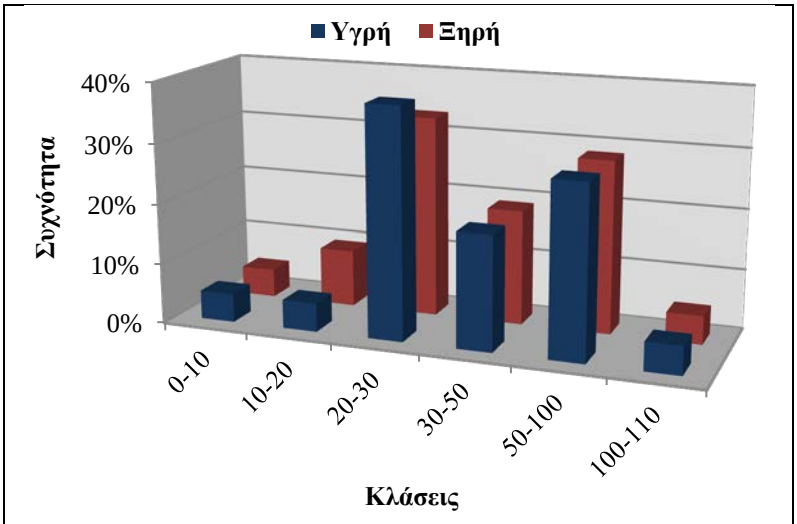
- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 6,8 έως 108,2 mg/l με μέση τιμή 37,3 mg/l. Για την ξηρή περίοδο το Mg^{2+} κυμαίνεται από 20,3 mg/l έως 104,2 mg/l με μέση τιμή 46,8 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 26,6 έως 44,3 mg/l με μέση τιμή 35,4 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Mg^{2+} είναι 10,1 και 34,0 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 23,1 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 14,9 mg/l έως 20,3 mg/l με μέση τιμή 17,7 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Mg^{2+} κυμαίνεται από 3,6 έως 33,0 mg/l και η μέση τιμή είναι 16,5 mg/l και στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του Mg^{2+} είναι 2,7 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του μαγνησίου κυμαίνονται από 31,4 έως 111,4 mg/l με μέση τιμή 72,1 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 67,0 έως 84,5 mg/l με μέση τιμή 73,2 mg/l.

Η συγκέντρωση του Mg^{2+} στο σύνολο των δειγμάτων κυμαίνεται από 3,6 έως 111,4 mg/l. Από το σύνολο των δειγμάτων ποσοστό 21% έχουν τιμές εντός των ορίων ποσιμότητας και μόνο τρία δείγματα παρουσιάζουν τιμές πάνω από 100 mg/l. Από τα δείγματα των υδρευτικών γεωτρήσεων μόνο το δείγμα της Γ4 είναι εντός ορίων με τις Γ1, Γ2, Γ3, και Γ16 να παρουσιάζουν τιμές του Mg^{2+} πάνω από το όριο των 50mg/l, ενώ οι αντίστοιχες τιμές των Γ5, Γ6, Γ46 και Γ50 είναι κάτω από το όριο των 30mg/l.

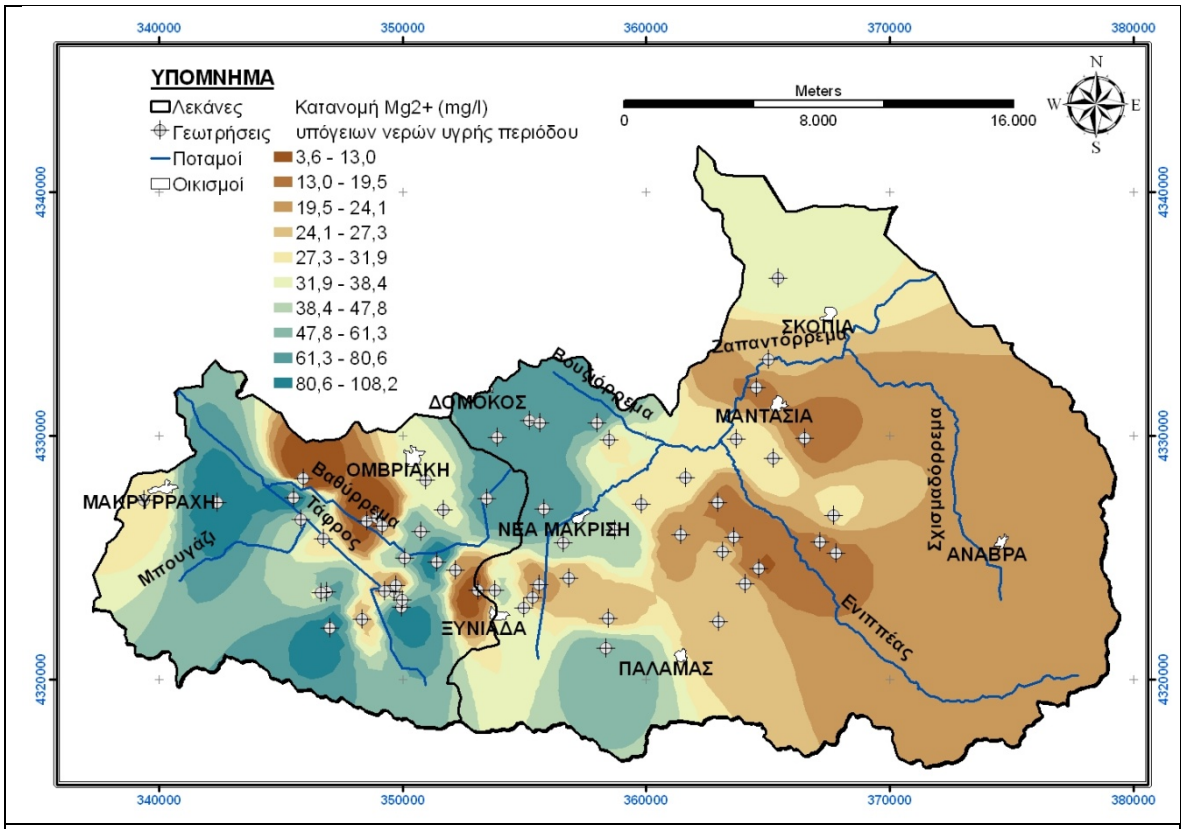
Οι υψηλότερες τιμές που παρατηρούνται οφείλονται σε φυσική επιβάρυνση γεωγενούς προέλευσης και διαπιστώνονται στα δείγματα που τροφοδοτούνται από τους οφιολιθικούς υδροφόρους που είναι πλούσιοι σε μαγνησιούχα ορυκτά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι πηγές Π3, Π4 και οι γεωτρήσεις Γ1 και Γ16 στα περιθώρια της λεκάνης του οροπεδίου. Η σύγκριση των δύο περιόδων δείχνει επικρατέστερες κλάσεις και για τις δύο περιόδους τις 20-30 και 50-100 mg/l, εμφανίζοντας ανεπαίσθητη αλλαγή από την υγρή στην ξηρή περίοδο (Σχήμα 9.24).

Η χωρική κατανομή του Mg^{2+} για τις δύο περιόδους υγρή και ξηρή, παρουσιάζεται στα

σχήματα 9.25 και 9.26 αντίστοιχα, από όπου παρατηρείται ότι δεν υπάρχει διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο περιόδους. Διαπιστώνονται περιοχές στα βορειανατολικά, νότια και δυτικά της λεκάνης Ξυνιάδας υψηλών τιμών Mg^{2+}. Στις περιοχές αυτές αναπτύσσονται οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες του ορεινού όγκου της Όθρυος οι οποίες συνίστανται από βασικά και υπερβασικά, πετρώματα με ορυκτολογική σύσταση ολιβίνες, πυρόξενους κ.ά. και χαρακτηρίζονται από την κυριαρχία των ιόντων Mg^{2+}. Η υδρόλυση αυτών των ορυκτών, κυρίως της ολιβίνης, συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών αυτής της περιοχής σε Mg^{2+}.



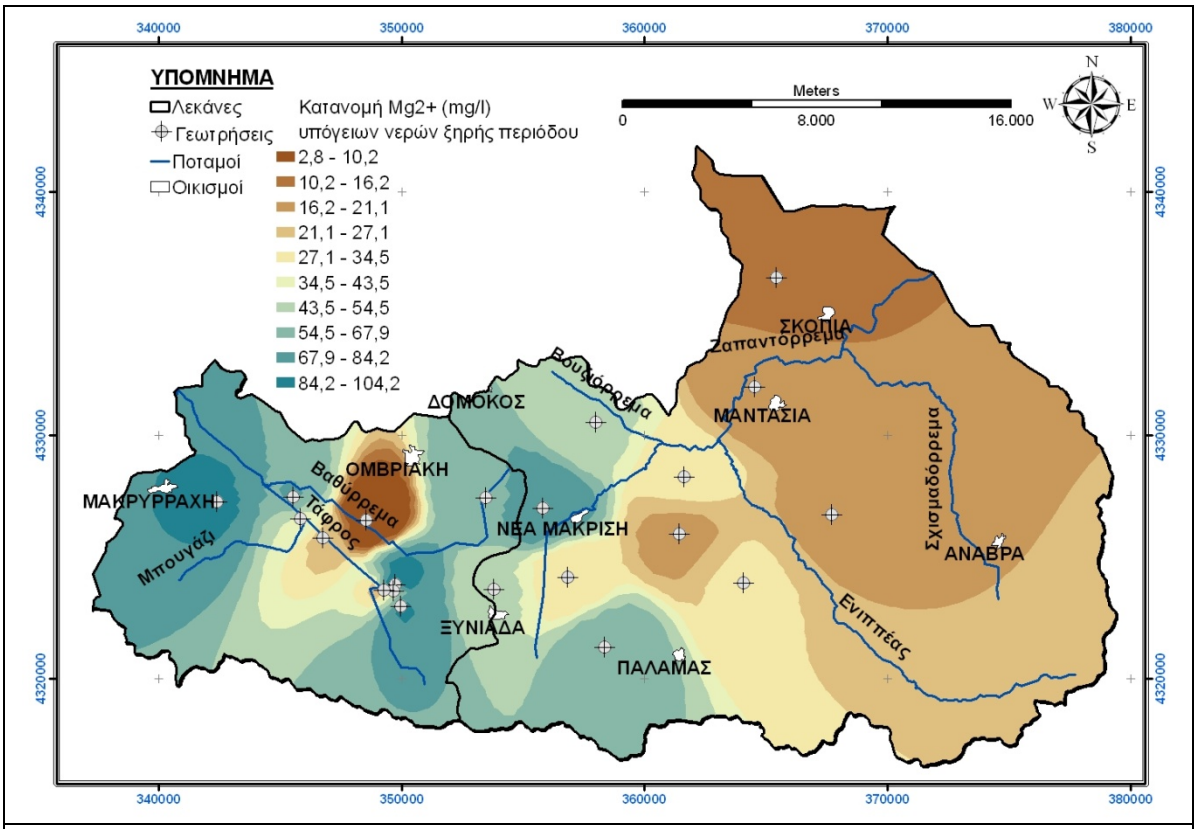
Σχήμα 9.24. Ιστόγραμμα σύγκρισης του μαγνησίου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.



Σχήμα 9.25. Χωρική κατανομή του μαγνησίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

9.3.2.3 Κάλιο (K^+)

Πηγές του καλίου στα υπόγεια νερά είναι ο μοσχοβίτης ($KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$) το ορθόκλαστο ($KAlSi_3O_8$), ο καρναλίτης ($KCl{\cdot}MgCl_2{\cdot}6H_2O$), ο μικροκλινής (KAlSi3O8), ο πολυαλίτης [$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4{\cdot}2(H_2O)$] και ο συλβίνης (KCl) (*Βουδούρης* 2009, http://el.wikipedia.org). Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του K^+ στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα 25.700 mg/kg, στους ψαμμίτες 13.200 mg/kg, στους αργίλους 24.900 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 2.390 mg/kg και στους εβαπορίτες 4.280 mg/kg, ενώ το θαλασσινό νερό περιέχει 392 mg/kg καλίου (*Matthess* 1982). Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,01-0,2 mmol/l (0,4-7,8 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005), ενώ σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. (*EU Council directive 98/83* 1998) το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων K^+ στα πόσιμα νερά είναι 10 mg/l με μέγιστο επιτρεπτό όριο τα 12 mg/l.



Σχήμα 9.26. Χωρική κατανομή του μαγνησίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Τα κατιόντα του καλίου είναι σημαντικά για τη λειτουργία του νευρικού συστήματος κεντρικού και περιφερειακού. Ακόμη, ρυθμίζουν την ωσμωτική ισορροπία μεταξύ των κυττάρων και του υγρού που τα περιβάλλει (http://el.wikipedia.org). Το περισσότερο από το συνολικό κάλιο στο σώμα βρίσκεται στο μυϊκό ιστό και μείωση της ποσότητας του μπορεί να ερμηνευτεί ως απώλεια μυϊκής μάζας. Η εκτιμώμενη ελάχιστη απαίτηση για κάλιο για εφήβους και ενήλικες είναι 2.000 mg ή 50 mEq / ημέρα και η συνήθης διαιτητική πρόσληψη για τους ενήλικες είναι περίπου 100 mEq / ημέρα. Η αυξημένη πρόσληψη καλίου βοηθά στη διατήρηση σε φυσιολογικά επίπεδα στο πλάσμα (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Η διακύμανση το K^+ στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,1 έως 3,8 mg/l με μέση τιμή 0,4 mg/l. Για την ξηρή περίοδο το K^+ κυμαίνεται από 0,2 mg/l έως 1,2 mg/l με μέση τιμή 0,7 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,1 έως 4,4 mg/l με μέση τιμή 2,3 mg/l.

- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του K^+ είναι 0,1 και 5,7 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 1,2 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 1,2 mg/l έως 1,5 mg/l με μέση τιμή 1,4 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το K^+ κυμαίνεται από 0,1 έως 11,4 mg/l και η μέση τιμή είναι 2,7 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του K^+ είναι 0,5 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του καλίου κυμαίνονται από 0,1 έως 1,9 mg/l με μέση τιμή 0,4 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,1 έως 0,4 mg/l με μέση τιμή 0,2 mg/l.

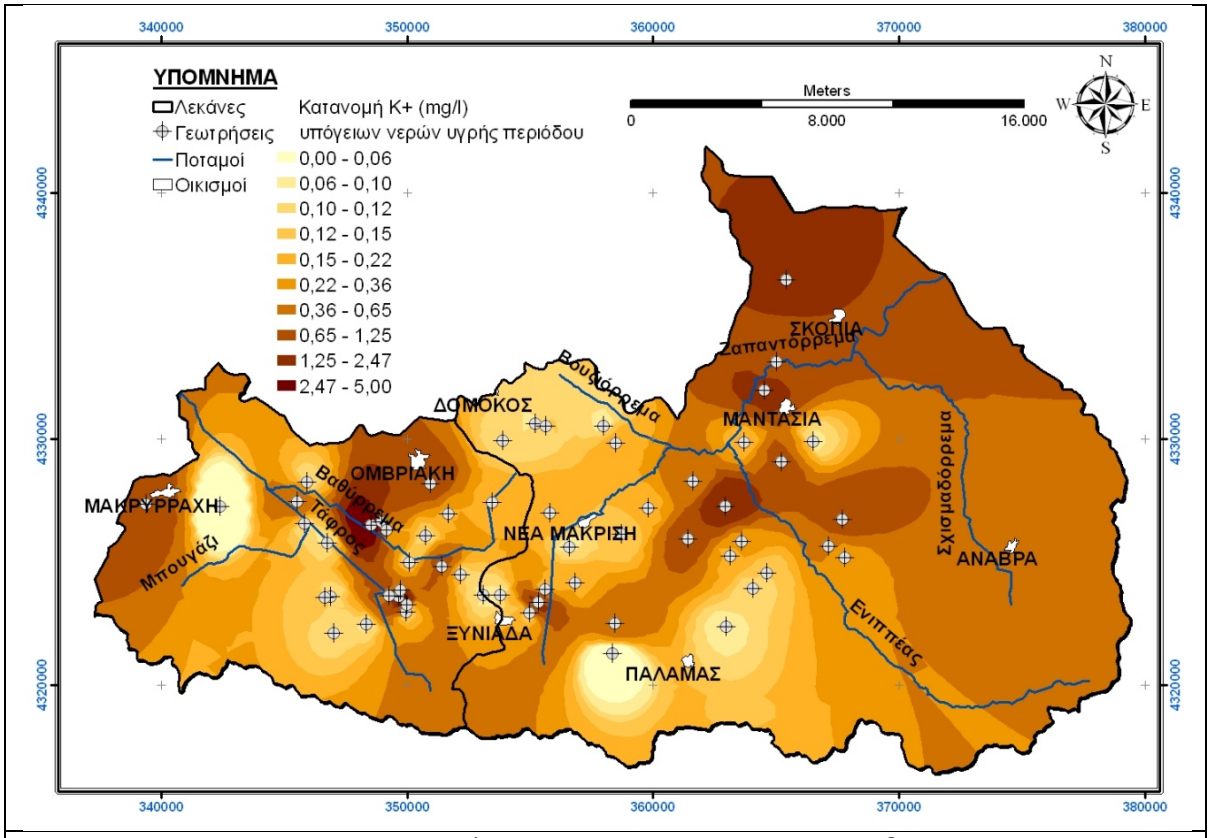
Οι τιμές καλίου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων σε χαμηλά επίπεδα με χαμηλότερη τιμή 0,1 και υψηλότερη 11,4 mg/l. Ποσοστό 76% των δειγμάτων παρουσιάζουν τιμές κάτω του 1,0 mg/l με μικρές διαφορές μεταξύ. Οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στις πηγές, ενώ δεν παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου. Η παρουσία του K^+ συνδέεται με γεωγενούς προέλευσης αίτια. Σχετίζεται με την παρουσία των ηφαιστειακών μελών του υποβάθρου της λεκάνης του οροπεδίου, που στην περιοχή της Όθρυος χαρακτηρίζονται από περιεκτικότητα σε K_2O (0,1-1,7%) (*Ferriére* 1982). Επιπλέον, παρόλη την έντονη αγροτική εκμετάλλευση της περιοχής με τη χρήση λιπασμάτων καλίου, τα επίπεδα του στα νερά των γεωτρήσεων κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Πιθανά αυτό συμβαίνει λόγω της προσρόφησής του από τα εδαφικά ορυκτά της αργίλου. Η χωρική κατανομή του K^+ για τις δύο περιόδους, υγρή και ξηρή, παρουσιάζεται στα σχήματα 9.27 και 9.28 αντίστοιχα. Διαπιστώνονται υψηλότερες τιμές στο βόρειο κεντρικό τμήμα της λεκάνης Ξυνιάδας και στο βορειοανατολικό τμήμα της λεκάνης Σκοπιάς, ενώ χαμηλότερες έως μηδενικές τιμές παρατηρούνται διάσπαρτα σε σημεία του οροπεδίου.

9.3.2.4 Νάτριο (Na^+)

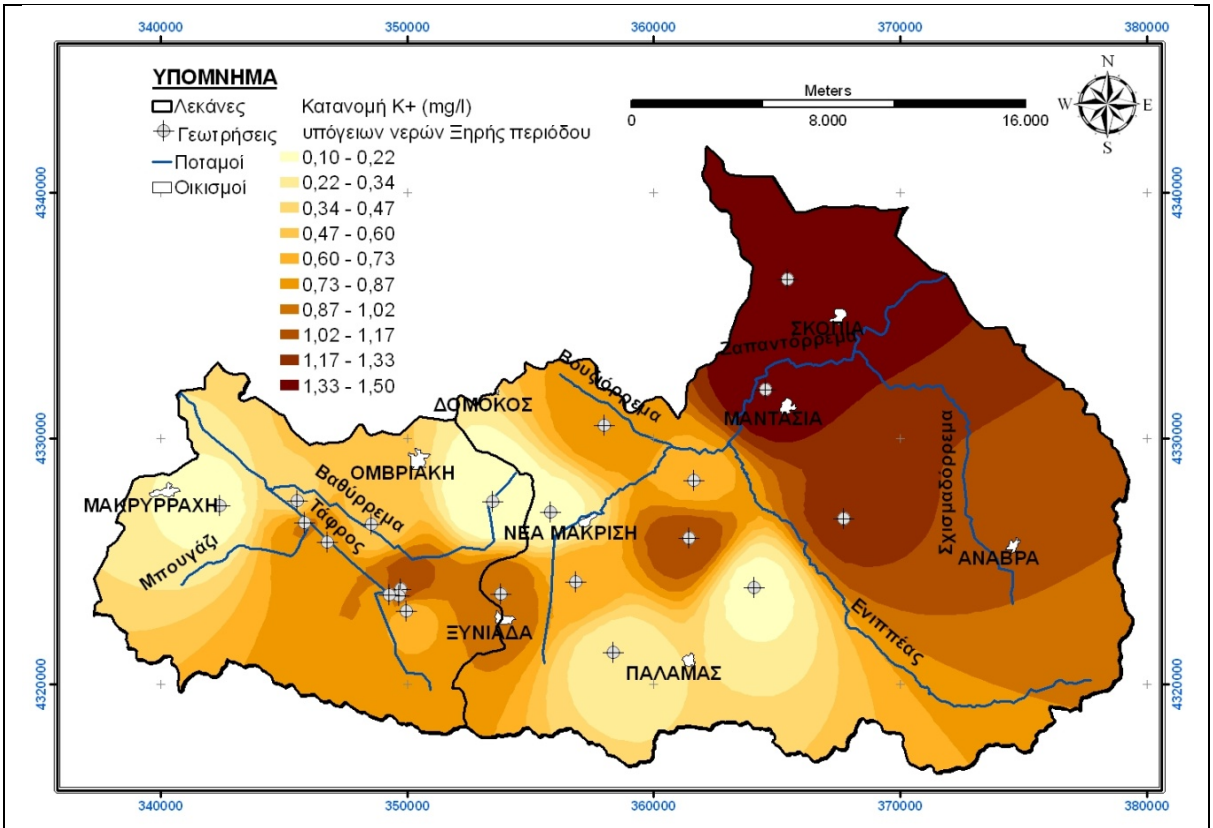
Το Na^+ συνδέει την παρουσία του με τους αστρίους, όπως ο αλβίτης (NaAlSi3O8), το ολιγόκλαστο με περιεκτικότητα σε αλβίτη 70-90%, το μιραβιλίτη ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) και απαντά επίσης στους νατριούχους αμφιβόλους (γλαυκοφανή), στους ζεόλιθους και στον αλίτη (NaCl). Η παρουσία του σχετίζεται και με τη διείσδυση της θάλασσας (συγκέντρωση έως 10.000 mg/l) σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες ή με αερομεταφερόμενα σταγονίδια από τη θάλασσα (*Βουδούρης* 2009). Το νάτριο δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους κατά την ανταλλαγή ιόντων του με ιόντα Ca^+ και έτσι προκαλεί μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους. Στα υπόγεια νερά προέρχεται συνήθως από την αποσάθρωση Na αστρίων (αλβίτης) ή οποιουδήποτε μέλους της σειράς των πλαγιόκλαστων ανάμεσα στον αλβίτη και στον ανορθίτη (*Καλλέργης* 2000, *Appelo and Postma* 2005).

Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Na^+ στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα 28.100 mg/kg, στους ψαμμίτες 3.870 mg/kg, στους αργίλους 4.850 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 393 mg/kg και 310.000 mg/kg στους εβαπορίτες (*Matthess* 1982). Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του Na^+ σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,1-2 mmol/l (2,3-46 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005), ενώ το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων Na^+ στα πόσιμα νερά είναι 20 mg/l με μέγιστο επιτρεπτό όριο τα 200 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998).

Το Νάτριο είναι το επικρατέστερο κατιόν στο εξωκυττάριο υγρό, συμμετέχει στην ωσμωτική ισορροπία του κυττάρου και είναι επίσης σημαντικό για τη διατήρηση της ορθής οξεοβασικής ισορροπίας και τη μετάδοση των νευρικών ερεθισμάτων. Μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων νατρίου στο πόσιμο νερό είναι τοξικές για υγιή ενήλικα άτομα, αποβάλλονται άμεσα με τα ούρα και αυξάνουν την αρτηριακή πίεση. Υψηλή πρόσληψη νατρίου ή πρόσληψη εξαιρετικά αλατισμένων τροφών μπορεί επίσης να σχετίζεται με το άσθμα, με τις απώλειες ασβεστίου στα ούρα και σε καρκίνο του στομάχου. Η μείωση της προσλαμβανόμενης ποσότητας του νατρίου έχει επιπτώσεις στην πρόληψη ενός μεγάλου αριθμού θανάτων από καρδιαγγειακά αίτια της νόσου (*www.tjclarkinc.com/minerals*).



Σχήμα 9.27. Χωρική κατανομή του καλίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

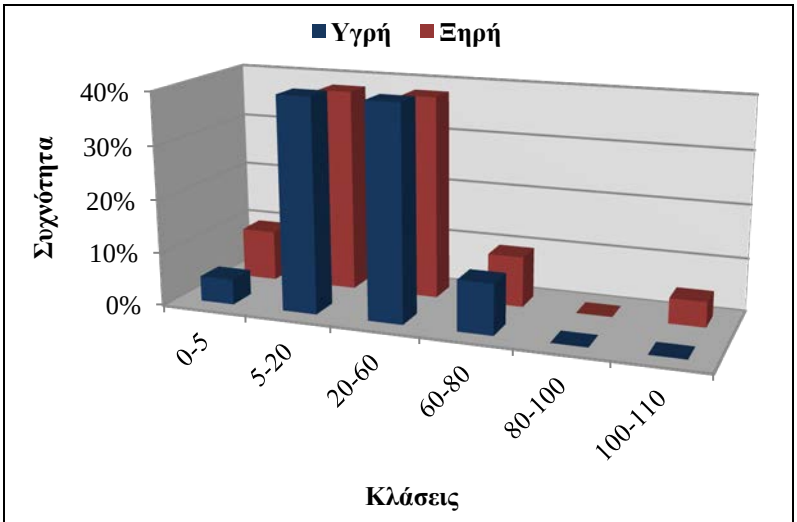


Σχήμα 9.28. Χωρική κατανομή του καλίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Οι τιμές του Na^+ στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας κυμαίνονται:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 12,5 έως 148,8 mg/l με μέση τιμή 35,3 mg/l. Για την ξηρή περίοδο το Na^+ κυμαίνεται από 14,0 mg/l έως 102,0 mg/l με μέση τιμή 33,5 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 13,6 έως 24,8 mg/l με μέση τιμή 19,2 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Na^+ είναι 10,4 και 61,5 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 26,7 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 1,04 mg/l έως 68,0 mg/l με μέση τιμή 32,5 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Na^+ κυμαίνεται από 2,0 έως 20,3 mg/l και η μέση τιμή ήταν 10,5 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του Na^+ είναι 11,2 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του νατρίου κυμαίνονται από 0,9 έως 37,7 mg/l με μέση τιμή 11,7 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 2,7 έως 19,7 mg/l με μέση τιμή 13,1 mg/l.

Οι τιμές συγκέντρωσης νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας κυμαίνονται από 0,9 έως 148,8 mg/l, ενώ ποσοστό 51% των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές πάνω από το ενδεικτικό επίπεδο των 20 mg/l, αλλά κάτω από το μέγιστο επιτρεπτό όριο των 200 mg/l. Οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στις αρδευτικές γεωτρήσεις σε αντίθεση με τις υδρευτικές γεωτρήσεις που παρουσιάζουν χαμηλά έως μηδενικά επίπεδα νατρίου όπως στην περίπτωση της Γ2 (0,9 mg/l), ενώ οι πηγές εμφανίζουν τιμές σε φυσιολογικά πλαίσια. Η προέλευση του Na^+ είναι κύρια γεωγενής και προκύπτει από την διάλυση διαφόρων νατριούχων ορυκτών που υπάρχουν στα ηφαιστειογενή πετρώματα. Αποτελούνται κυρίως από pillow λάβες, οι οποίες στην ευρύτερη περιοχή της Όθρυος χαρακτηρίζονται γενικά από υψηλές περιεκτικότητες σε αλκάλια Na_2O (3,4-5,4%) (*Ferriére* 1982). Πιθανές είναι επίσης τοπικά και οι ανθρωπογενείς επιδράσεις, είτε λόγω των λιπασμάτων από γεωργικές δραστηριότητες είτε λόγω αποβλήτων από τους οικισμούς. Εξάλλου, τα ιόντα Na^+ στα υπόγεια ύδατα μπορεί να προέρχονται και από χρήση κοπριάς ως λίπασμα (*Kyoung-Ho et. al*. 2009).



Σχήμα 9.29. Ιστόγραμμα σύγκρισης του νατρίου των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

Η σύγκριση υγρής-ξηρής περιόδου εμφανίζει μηδενική διαφοροποίηση και τις ίδιες επικρατέστερες κλάσεις 5-20 και 20-60 mg/l. Η χωρική κατανομή του Na^+ για τις δύο περιόδους υγρή και ξηρή παρουσιάζεται στα σχήματα 9.30 και 9.31 αντίστοιχα. Διαπιστώνονται και για τις δύο περιόδους αυξημένες τιμές Na^+ στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης Ξυνιάδας, ενώ παρατηρείται πτώση των τιμών του Na^+ στο κεντρικό ανατολικό και στο κεντρικό δυτικό τμήμα της λεκάνης. Επιπλέον την ξηρή περίοδο παρατηρείται αύξηση

των τιμών στα βόρεια τμήματα του οροπεδίου που σχετίζονται με την ύπαρξη pillow λάβες στο υπόβαθρο και με ανθρώπινες δραστηριότητες. Στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας οι αυξημένες τιμές του Na^+ υποδηλώνουν, συσχετιζόμενες με τις υψηλές τιμές των HCO_3^- και του Mn, την ύπαρξη εβαποριτικών στρωμάτων στις οργανικές αποθέσεις. Αποτελούνται κυρίως από άλατα Na^+ όπως $Na_2CO_2 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$ και άλλα ορυκτά τα οποία έχουν προκύψει από τις περιόδους έντονης ξηρασίας στα περιθώρια της τέως λίμνης Ξυνιάδας, κατά τη διάρκεια της παλαιοεξέλιξής της. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν σε αυτήν την περίπτωση οι γεωτρήσεις Γ23 και Γ27.

9.3.2.5 Οξυανθρακικά (HCO_3^-)

Είναι το επικρατέστερο ανιόν στα γλυκά υπόγεια νερά. Προέρχεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας και το ελευθερούμενο στο έδαφος κατά την οργανική αποσύνθεση σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2(HCO_3^-)$$

Επίσης προέρχονται από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό:

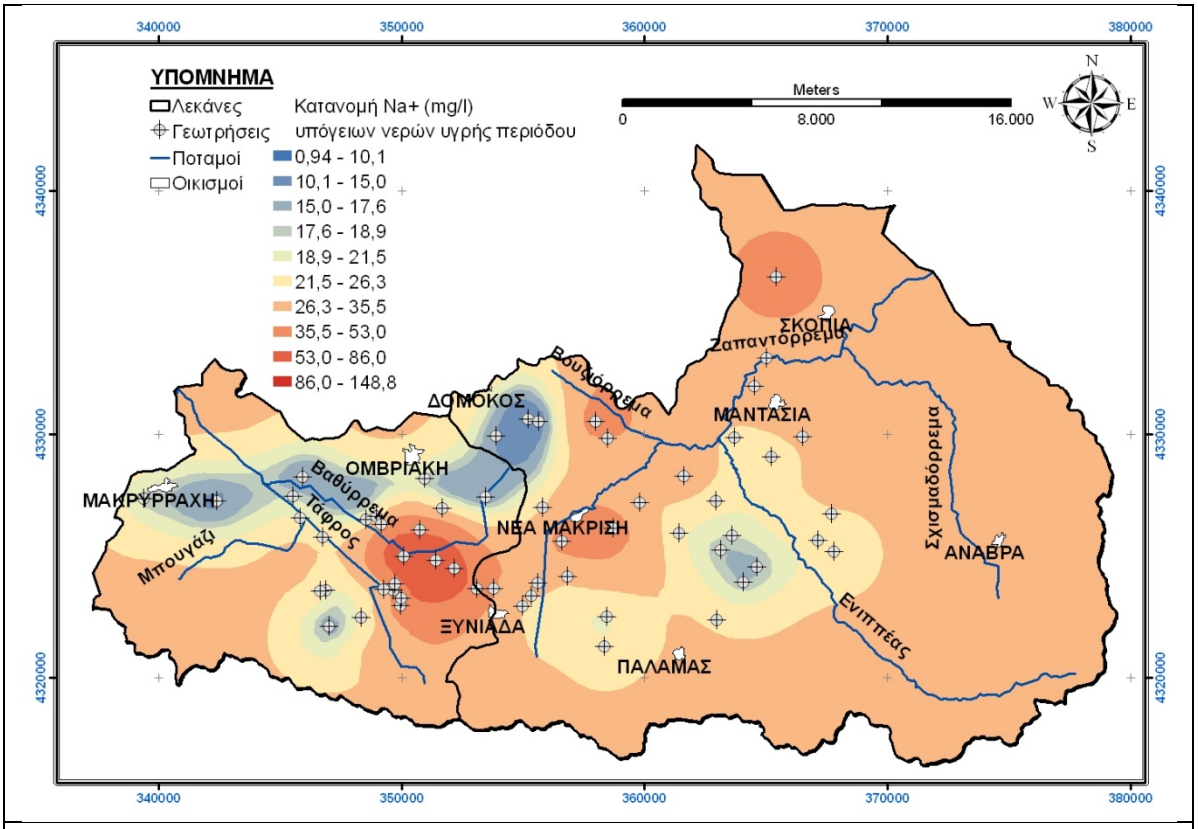
$$CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$$

Το HCO_3^- είναι σημαντικό ιόν για την ανθρώπινη υγεία γιατί ρυθμίζει το pH του οργανισμού σε κατάλληλες τιμές. Υπάρχουν και φυσικά ανθρακούχα νερά (π.χ. ΣΟΥΡΩΤΗ) που περιέχουν σε μεγάλες περιεκτικότητες HCO_3^- και CO_2 (*Βουδούρης* 2009). Τα Οξυανθρακικά ή όξινα διττανθρακικά HCO_3 αποτελούν δείκτη για την ύπαρξη οργανικών ουσιών στα νερά. Η συγκέντρωση τους στα ύδατα οφείλεται κυρίως στη διάλυση του ασβεστίτη προς Ca^{2+} και HCO_3^-. Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις τους σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,0-5,0 mmol/l (0,0-305 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005). Η ενδεικτική συγκέντρωση του C στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα 320 mg/kg, στους ψαμμίτες 13.800 mg/kg, στους αργίλους 15.300 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 113.500 mg/kg (*Matthess* 1982).

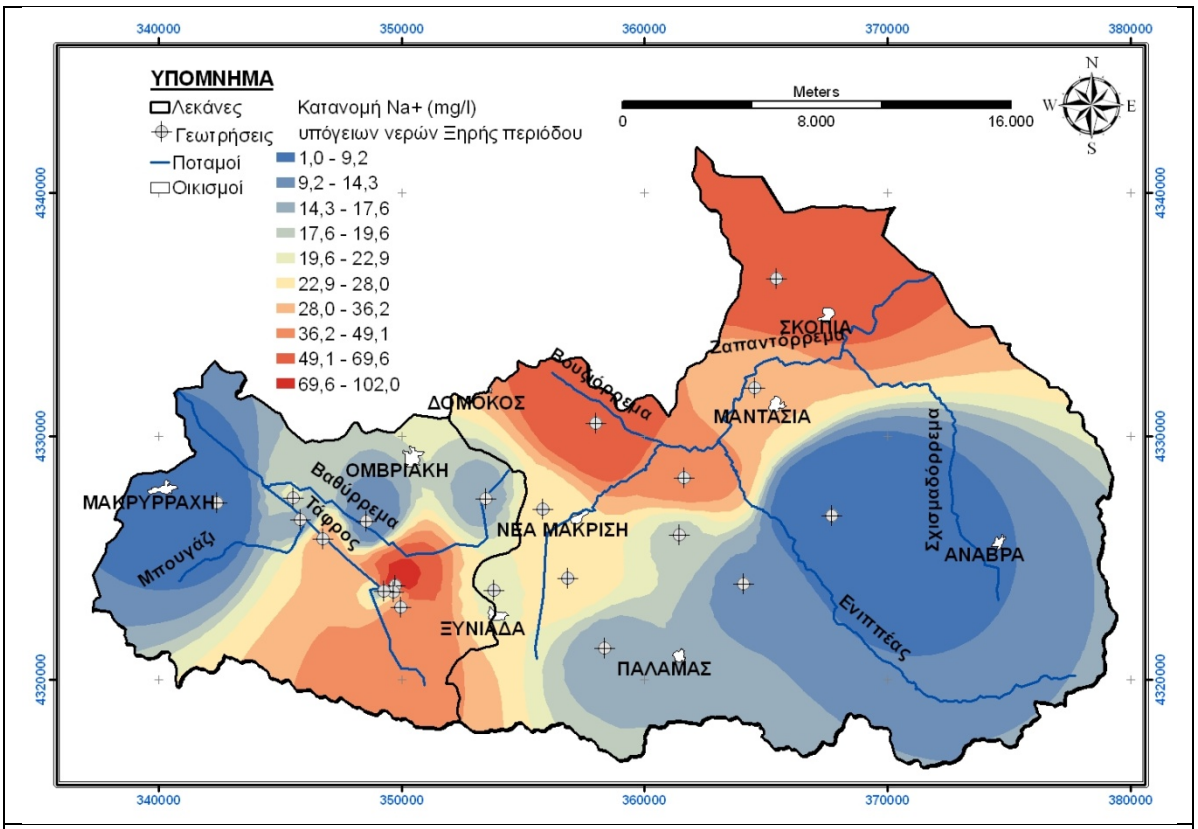
Στα υπόγεια νερά της περιοχής του οροπεδίου Δομοκού οι συγκεντρώσεις των HCO_3^- κυμαίνονται:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 140,3 έως 738,1 mg/l με μέση τιμή 368,2 mg/l και για την ξηρή περίοδο από 207, 4 mg/l έως 1.030,9 mg/l με μέση τιμή 428,7 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς η διακύμανση των HCO_3^- είναι από 366,0 έως 475,8 mg/l με μέση τιμή 420,9 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των HCO_3^- είναι 359,9 και 512,4 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 414,8 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 378,2 mg/l έως 439,2 mg/l με μέση τιμή 402,6 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα HCO_3^- κυμαίνονται από 244,0 έως 549,0 mg/l και η μέση τιμή είναι 391,1 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή των HCO_3^- είναι 500,2 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των HCO_3^- κυμαίνονται από 280,6 έως 585,6 mg/l με μέση τιμή 404,5 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 366,0 έως 427,0 mg/l με μέση τιμή 388,4 mg/l.

Τα οξυανθρακικά είναι συνήθως το επικρατέστερο από τα ανιόντα στα υπόγεια νερά και προέρχεται από το CO_2 που ελευθερώνεται κατά την οργανική αποσύνθεση στο έδαφος. Οι τιμές των οξυανθρακικών στην περιοχή έρευνας κυμάνθηκαν σε σχετικά υψηλά επίπεδα με χαμηλότερη και υψηλότερη τιμή για το σύνολο των δειγμάτων 140,3 mg/l και 1.030,9 mg/l αντίστοιχα. Ποσοστό 39% από το σύνολο των δειγμάτων παρουσίασαν τιμές πάνω από 400 mg/l με τις υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται στις γεωτρήσεις και τις χαμηλότερες στις πηγές. Η σύγκριση υγρής-ξηρής περιόδου εμφανίζει επικρατέστερες κλάσεις τις 300-400 και



Σχήμα 9.30. Χωρική κατανομή του νατρίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



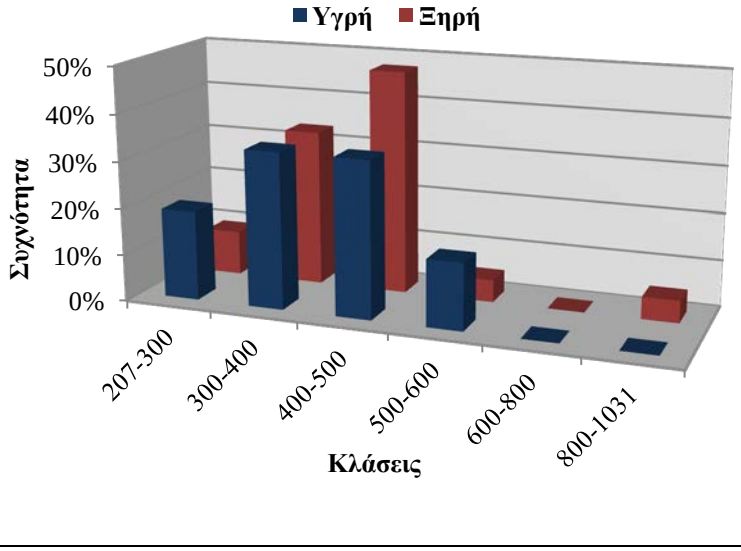
Σχήμα 9.31. Χωρική κατανομή του νατρίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

400-500 mg/l και για τις δύο περιόδους. Η αύξηση των τιμών στην κλάση 400-500 mg/l κατά την ξηρή περίοδο οφείλεται στη διάλυση των ανθρακικών αλάτων με την κυκλοφορία του νερού.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις των HCO_3^- παρατηρήθηκαν στα τεταρτογενή ιζήματα και σχετίζονται με την παρουσία του CO_2 λόγω ύπαρξης οργανικού υλικού, όπως στην περιοχή της πρώην λίμνης, και της πλούσιας προσφοράς ανθρακικού υλικού. Υπάρχουν ωστόσο γεωτρήσεις όπως οι Γ25, Γ36, Γ37, Γ38, Γ39, Γ44 και Γ49, εντός των αλλουβιακών αποθέσεων, που οι τιμές των HCO_3^- είναι χαμηλές με ταυτόχρονη υψηλή συγκέντρωση CO_2.

Σε αυτές τις περιπτώσεις προφανώς δεν υπάρχουν ανθρακικά ορυκτά στην εδαφική ή στην ακόρεστη ζώνη και η κατείσδυση του φορτισμένου με CO_2 νερού γίνεται χωρίς την σημαντική κατανάλωση CO_2, το οποίο έτσι δεν μετατρέπεται σε HCO_3^-. Στις υπόλοιπες περιοχές, η διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων που υπάρχουν στην περιοχή έρευνας, είτε εντός άλλων σχηματισμών, είναι η αιτία των υψηλών τιμών των HCO_3^-.

Η χωρική κατανομή των HCO_3^- για τις δύο περιόδους υγρή και ξηρή παρουσιάζεται στα σχήματα 9.33 και 9.34 αντίστοιχα. Διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές των HCO_3^- στις περιοχές αγροτικής εκμετάλλευσης όπως και στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας, που συσχετίζονται με την ύπαρξη οργανικού υλικού.



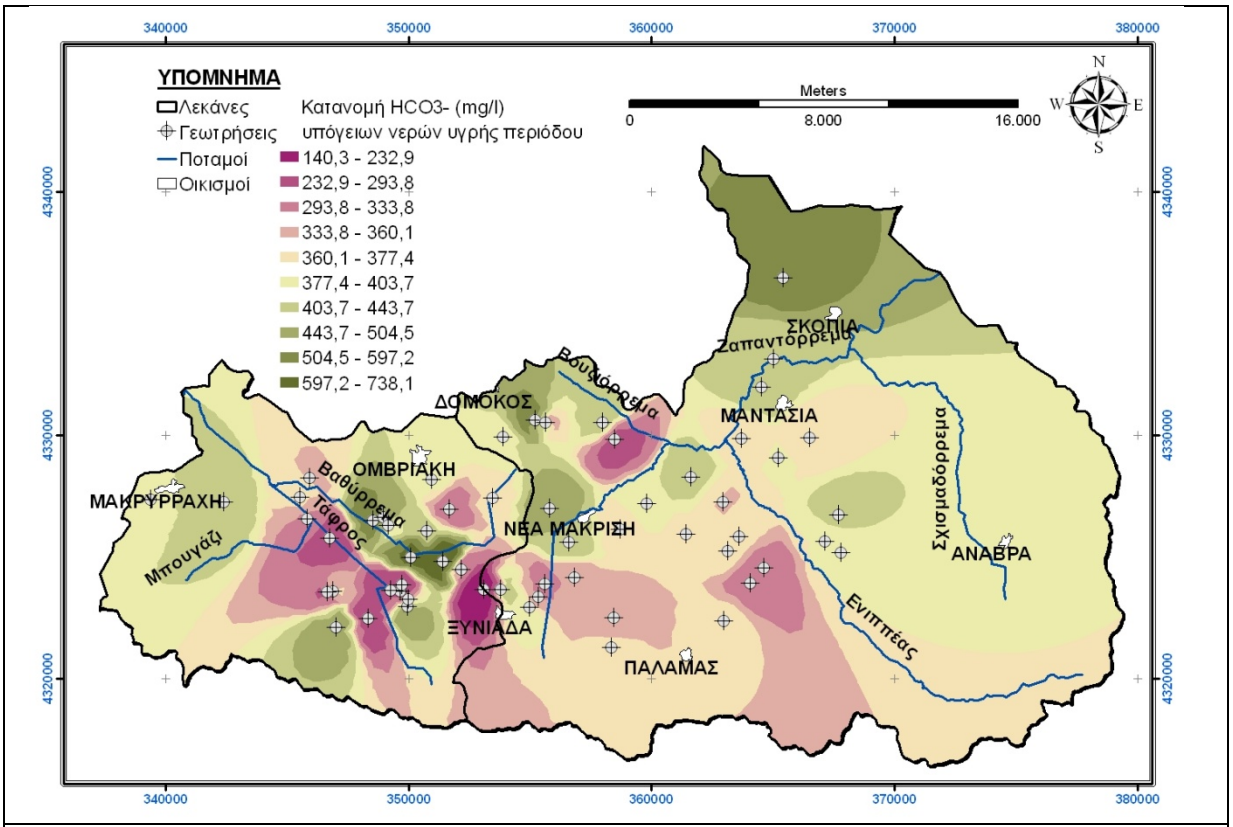
Σχήμα 9.32. Ιστόγραμμα σύγκρισης των οξυανθρακικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

9.3.2.6 Χλώριο (Cl^-)

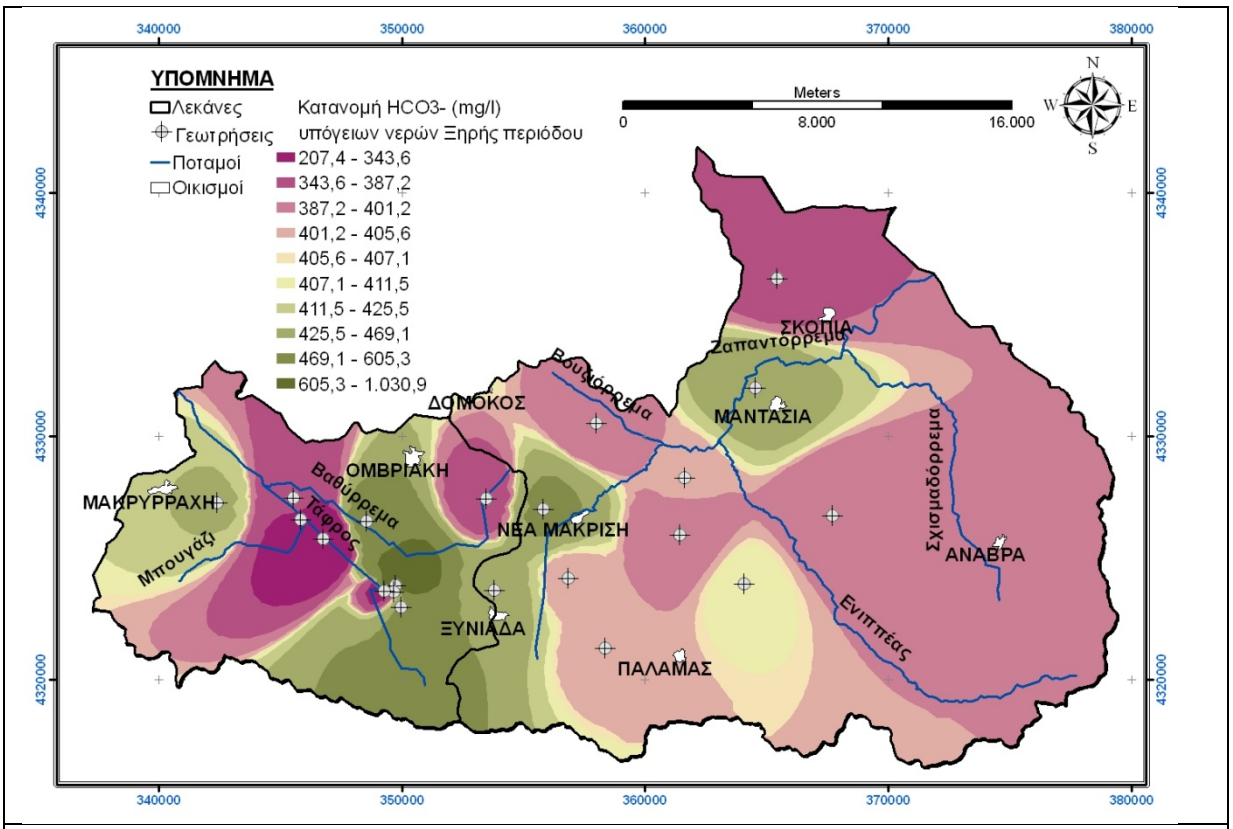
Κύρια προέλευση του χλωρίου είναι τα ιζηματογενή πετρώματα, που περιέχουν αργιλικά ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, οι εβαπορίτες, ενώ άλλη πηγή αποτελεί το απολιθωμένο νερό και η διείσδυση της θάλασσας που συχνά μολύνει τους παράκτιους υδροφόρους. Η αλατότητα του βρόχινου νερού στις νησιωτικές και παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη σε σύγκριση με την ενδοχώρα, καθώς οι υγρές αέριες μάζες πάνω από τη θάλασσα μεταφέρουν σταγονίδια πλούσια σε άλατα. Έτσι, η απόθεση του πλούσιου σε άλατα βρόχινου νερού επιδρά σημαντικά στο χημισμό των υπόγειων νερών στις περιοχές αυτές. Στις βιομηχανικές περιοχές η αύξηση του Cl^- προέρχεται από την καύση των πλαστικών και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια (*Καλλέργης* 2000, *Βουδούρης* 2009). Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Cl^- στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα 305 mg/kg, στους ψαμμίτες 15 mg/kg, στους αργίλους 170 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 305 mg/kg και στους εβαπορίτες 525.000 mg/kg (*Matthess* 1982).

Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του Cl^- σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,05-2 mmol/l (1,8-71 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005), ενώ τιμές μεγαλύτερες των 600mg/l θεωρούνται τοξικές για την ανθρώπινη υγεία. Συγκέντρωση πάνω από 100 mg/l δίνει αλμυρή γεύση στο νερό (*Καλλέργης* 2000). Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία *EU Council*

directive 98/83 (1998) το επιθυμητό όριο συγκέντρωσης των χλωριόντων στο πόσιμο νερό είναι 25 mg/l και το ανώτατο 250 mg/l.



Σχήμα 9.33. Χωρική κατανομή των οξυανθρακικών στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.34. Χωρική κατανομή των οξυανθρακικών στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Το ελεύθερο χλώριο χρησιμοποιείται για την απολύμανση του νερού, δίνει στο νερό ελαφρά οσμή και αλλοιώνει τη γεύση του, αλλά έχει παρενέργειες λόγω των παράγωγων ενώσεων που δημιουργούνται. Έτσι σε νερά που χλωριώνονται πρέπει να μετρηθεί υπολειμματικό χλώριο (*Παππά* 2001). Η παραμονή του χλωρίου από χλωρίωση του στο νερό κυμαίνεται από 1-2 ώρες στην απλή χλωρίωση και μέχρι 5-15 min στην υπερχλωρίωση. Όταν όμως το νερό περιέχει οργανικές ενώσεις πρέπει να αποφεύγεται η χλωρίωση γιατί δημιουργούνται καρκινογόνοι χλωριωμένοι υδρογονάθρακες. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να εφαρμόζεται οζόνωση ανεξάρτητα από το κόστος *(Καλλέργης* 2000). Τα χλωριούχα ιόντα συμβάλλουν στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των ερυθρών αιμοσφαιρίων και στην παραγωγή του υδροχλωρικού οξέος στο στομάχι. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις το νερό γίνεται γλυφό και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν ότι προκαλούνται καρδιαγγειακά προβλήματα (*Βουδούρης* 2009).

Στην περιοχή έρευνας η διακύμανση του Cl^- στα υπόγεια νερά είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 7,1 έως 95,7 mg/l με μέση τιμή 28,4 mg/l και για την ξηρή περίοδο το χλώριο κυμαίνεται από 10,6 mg/l έως 92,2 mg/l με μέση τιμή 32,9 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 21,3 έως 39,0 mg/l με μέση τιμή 30,2 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Cl^- είναι 17,7 και 67,4 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 32,5 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 14,2 mg/l έως 56,7 mg/l με μέση τιμή 40,2 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Cl^- κυμαίνεται από 7,1 έως 24,8 mg/l και η μέση τιμή είναι 15,4 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του Cl^- είναι 14,2 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του χλωρίου κυμαίνονται από 7,1 έως 35,5 mg/l με μέση τιμή 14,5 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 10,6 έως 21,3 mg/l με μέση τιμή 14,2 mg/l.

Οι τιμές χλωρίου για το σύνολο των δειγμάτων κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα με χαμηλότερη τιμή 7,1 και υψηλότερη 95,7 mg/l. Ποσοστό 55% των δειγμάτων παρουσίασαν τιμές κάτω των 25 mg/l με τις υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται στις γεωτρήσεις, ενώ η σύγκριση μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου παρουσιάζει τις τιμές σχεδόν αμετάβλητες.

Η παρουσία του Cl^- συνδέεται με γεωγενούς προέλευσης αίτια και με κατά τόπους ανθρωπογενείς επιδράσεις, καθώς αποκλείεται η διείσδυση θαλασσινού νερού στους υδροφόρους. Σε αυτό συνηγορούν η μεγάλη απόσταση από τη θάλασσα, τα θετικά υψόμετρα των υδροφόρων και τα βάθη τους, που δεν ξεπερνούν το επίπεδο της θάλασσας. Η γεωγενής προέλευση του χλωρίου οφείλεται στη διάλυση πετρωμάτων των οφιολιθικών και ανθρακικών σχηματισμών, όπως και στην ορυκτολογική σύσταση των νεογενών ιζημάτων και των εβαποριτών που πιθανά περιέχουν. Η ανθρωπογενής επίδραση οφείλεται σε αστικής προέλευσης απόβλητα, είτε σε απόβλητα κτηνοτροφικών μονάδων. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτελούν, για την πρώτη περίπτωση η πηγή Π12 και η γεώτρηση Γ37 και για τη δεύτερη οι γεωτρήσεις Γ40 και Γ43. Η χωρική κατανομή των ιόντων Cl^- για τις δύο περιόδους υγρή και ξηρή παρουσιάζεται στα σχήματα 9.35 και 9.36 αντίστοιχα. Διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές στις περιοχές που βρίσκονται οι γεωτρήσεις που προαναφέρθηκαν και οι οποίες συσχετίζονται με τις επιδράσεις ανθρωπογενούς φύσεως.

9.3.2.7 Θειικά ιόντα (SO_4^{-2})

Η κύρια προέλευση των θειικών ανιόντων είναι η διάλυση ορυκτών όπως η γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ο ανυδρίτης ($CaSO_4$), καθώς και η οξείδωση θειούχων ενώσεων (πυριτών) που εμφανίζονται σε αργιλικά πετρώματα σύμφωνα με τις αντιδράσεις (*Βουδούρης* 2009):

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O_{(s)} \leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$$

$$CaSO_{4\,(s)} \leftrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-}$$

Ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η χρήση εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων, θειικών λιπασμάτων τύπου $(NH_4)_2SO_4$, τα καυσαέρια των οχημάτων, τα εργοστάσια, η οικιακή θέρμανση, οι πυρκαγιές δασών και φυσικοί παράγοντες όπως τα ηφαίστεια συμβάλλουν επίσης στην αύξηση των SO_4^{2-} στα υπόγεια νερά. Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του θείου στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα 410 mg/kg, στους ψαμμίτες 945mg/kg, στους αργίλους 1.850 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 4.550 mg/kg και στους εβαπορίτες 26.800 mg/kg (*Matthess* 1982).

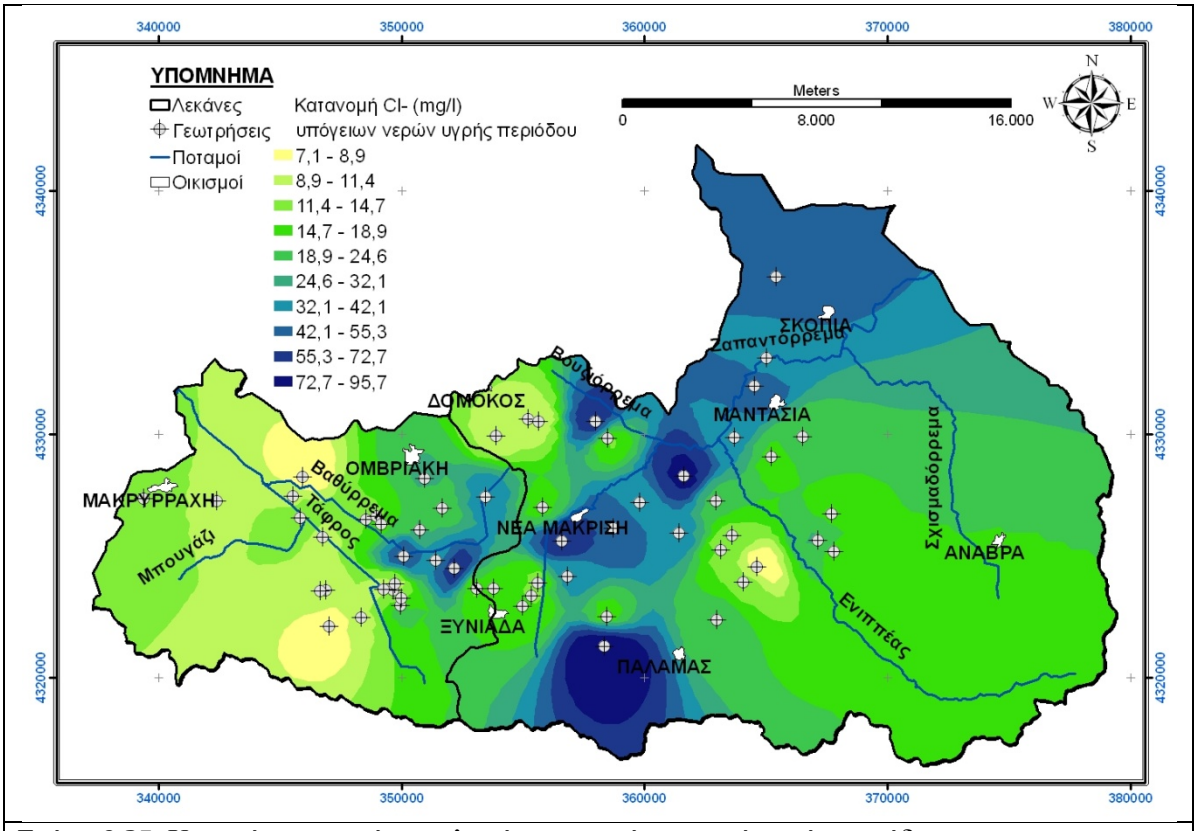
Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις των SO_4^{2-} σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,01-5 mmol/l (1,0-480 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005), ενώ η υπέρβαση αυτής της συγκέντρωσης οφείλεται είτε στην ύπαρξη γύψου και ανυδρίτη είτε σε φαινόμενα ρύπανσης (*Καλλέργης* 2000). Στα πόσιμα νερά, το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης των SO_4^{2-} σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 25 mg/l με ανώτατο όριο τα 250 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998). Σε μεγάλες περιεκτικότητες θειικών ιόντων το νερό δρα ως καθαρτικό. Περιεκτικότητα όμως μεγαλύτερη από 250 mg/l σε θειικά ιόντα καθιστά τη χρήση των νερών προβληματική για πόση (προσδίδει γεύση) και βιομηχανική χρήση. Γενικά (*Βουδούρης* 2009) το θείο και οι ενώσεις του ευθύνονται για τα προβλήματα οσμών και διαβρώσεων.

Το θείο είναι ένα αμέταλλο στοιχείο και αντιπροσωπεύει περίπου το 0,25 τοις εκατό του συνολικού βάρους του σώματός μας. Το σώμα περιέχει περίπου 140 γραμμάρια του θείου, κυρίως στις πρωτεΐνες, αν και είναι κατανεμημένα σε μικρές ποσότητες σε όλα τα κύτταρα και τους ιστούς. Είναι ένα από τα σημαντικά στοιχεία της ζωής καθώς είναι παρόν σε τέσσερα αμινοξέα. Την μεθειονίνη, την κυστίνη, την κυστεΐνη και την ταυρίνη, η οποία δεν αποτελεί μέρος των ιστών του σώματος αλλά συμβάλλει στην παραγωγή οξέων της χολής και της πέψης. Περιέχεται επίσης στην κερατίνη, που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των τριχών και του δέρματος και συμβάλλει στο σχηματισμό του κολλαγόνου (www.tjclarkinc.com/minerals).

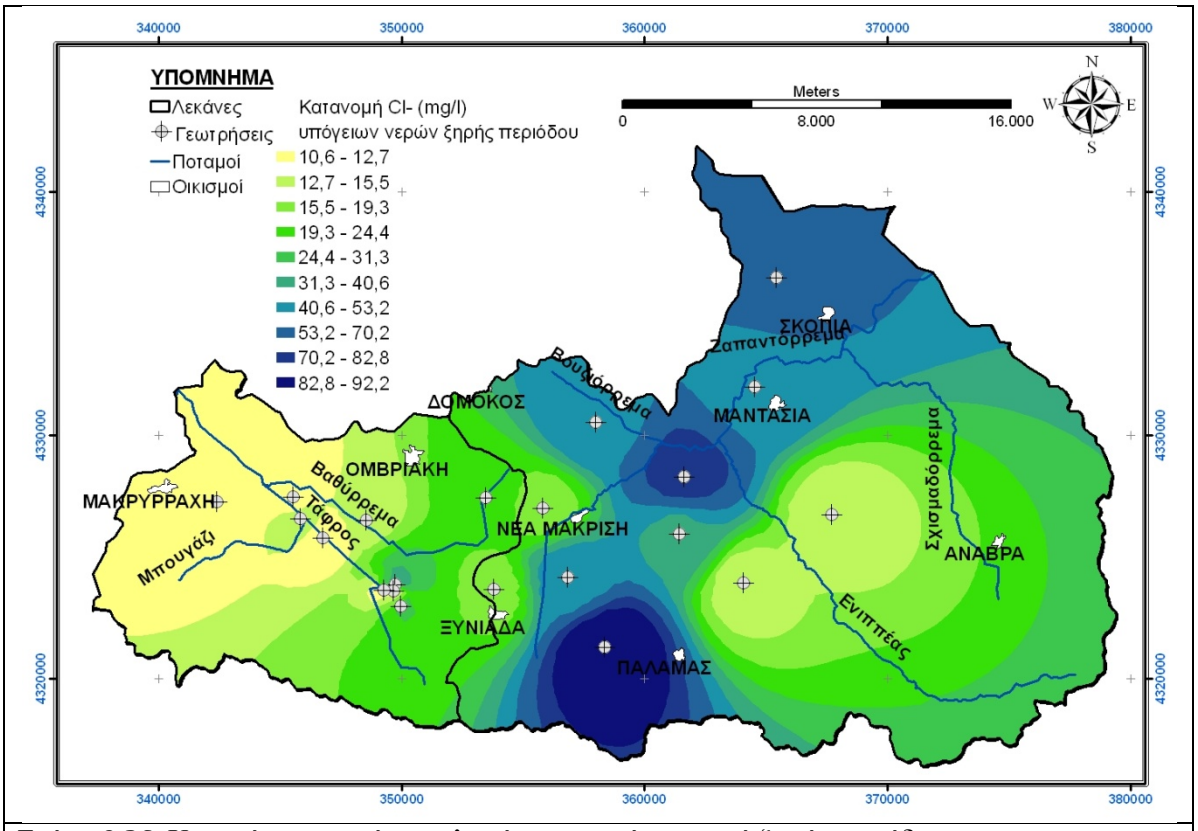
Οι τιμές των SO_4^{2-} στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας κυμαίνονται:

- Για τις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,4 έως 420,0 mg/l με μέση τιμή 42,6 mg/l. Για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 1,7 mg/l έως 250,0 mg/l με μέση τιμή 49,6 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 29,5 έως 53,8 mg/l με μέση τιμή 41,6 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των SO_4^{2-} είναι 6,1 και 131,4 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 54,3 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο οι τιμές των θειικών ιόντων κυμαίνονται από 49,7 mg/l έως 98,2 mg/l με μέση τιμή 68,6 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα SO_4^{2-} κυμαίνονται από 0,4 έως 67,6 mg/l και η μέση τιμή είναι 20,4 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή των SO_4^{2-} είναι 12,7 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,4 έως 149,6 mg/l με μέση τιμή 24,4 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 2,3 έως 101,8 mg/l με μέση τιμή 43,0 mg/l.

Οι τιμές των θειικών ιόντων στην περιοχή έρευνας παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση από 0,4 έως 420 mg/l εξαιτίας των διαδικασιών διάλυσης, καθίζησης, οξείδωσης και αναγωγής κατά την κίνηση του νερού εντός των πετρωμάτων. Δύο δείγματα ξεπερνούν τα 250 mg/l που τίθεται σαν ανώτατο όριο για τα πόσιμα νερά απ' την Ε.Ε (*EU Council directive 98/83* 1998) και οι υψηλότερες τιμές παρουσιάζονται στις γεωτρήσεις και οι χαμηλότερες στις πηγές. Η σύγκριση των 21 κοινών δειγμάτων των δύο περιόδων δείχνει την πλειοψηφία των τιμών στην κλάση 0-50 mg/l και μηδενική διαφοροποίηση από τη μια περίοδο στην άλλη (Σχήμα 9.37). Η προέλευση των SO_4^{2-} στα υπόγεια νερά αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες και ένα ποσοστό πιθανά προέρχεται από ανθρωπογενείς επιδράσεις. Η αποδόμηση οργανικού υλικού που είναι πλούσιο στα βαθύτερα αργιλικά



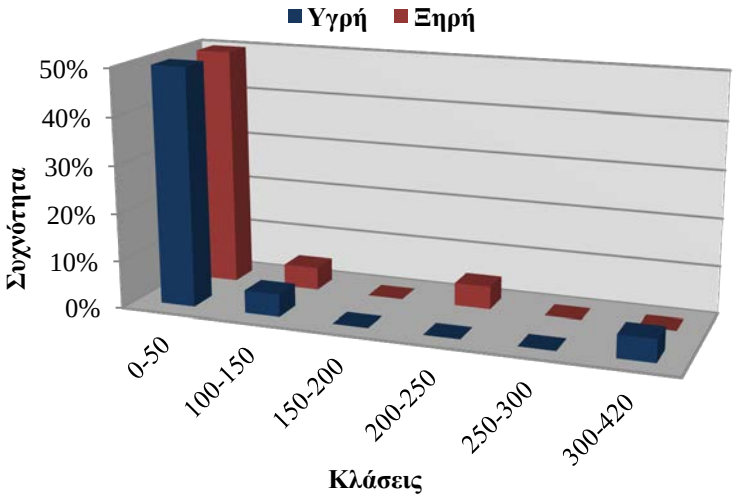
Σχήμα 9.35. Χωρική κατανομή του χλωρίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου



Σχήμα 9.36. Χωρική κατανομή του χλωρίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

στρώματα (*Charizopoulos et al*. 2013a) και η διάλυση γυψούχων ορυκτών συνδέονται με την παρουσία των θεικών ιόντων στα υπόγεια νερά. Η οξείδωση του σιδηροπυρίτη, ο οποίος

υπάρχει διάσπαρτος σε οφιολιθικά υπολείμματα και στο οργανικό υλικό, αποτελούν επίσης αιτία της γεωγενούς προέλευσης των SO_4^{2-} (*Davis and DeWiest* 1966). Επιπλέον, η αποσύνθεση της οργανικής ύλης στον υδροφόρο μπορεί να διεγείρει και σημαντικές αντιδράσεις, όπως η αναγωγή οξειδίων Fe και θειικών με την παραγωγή H_2S.



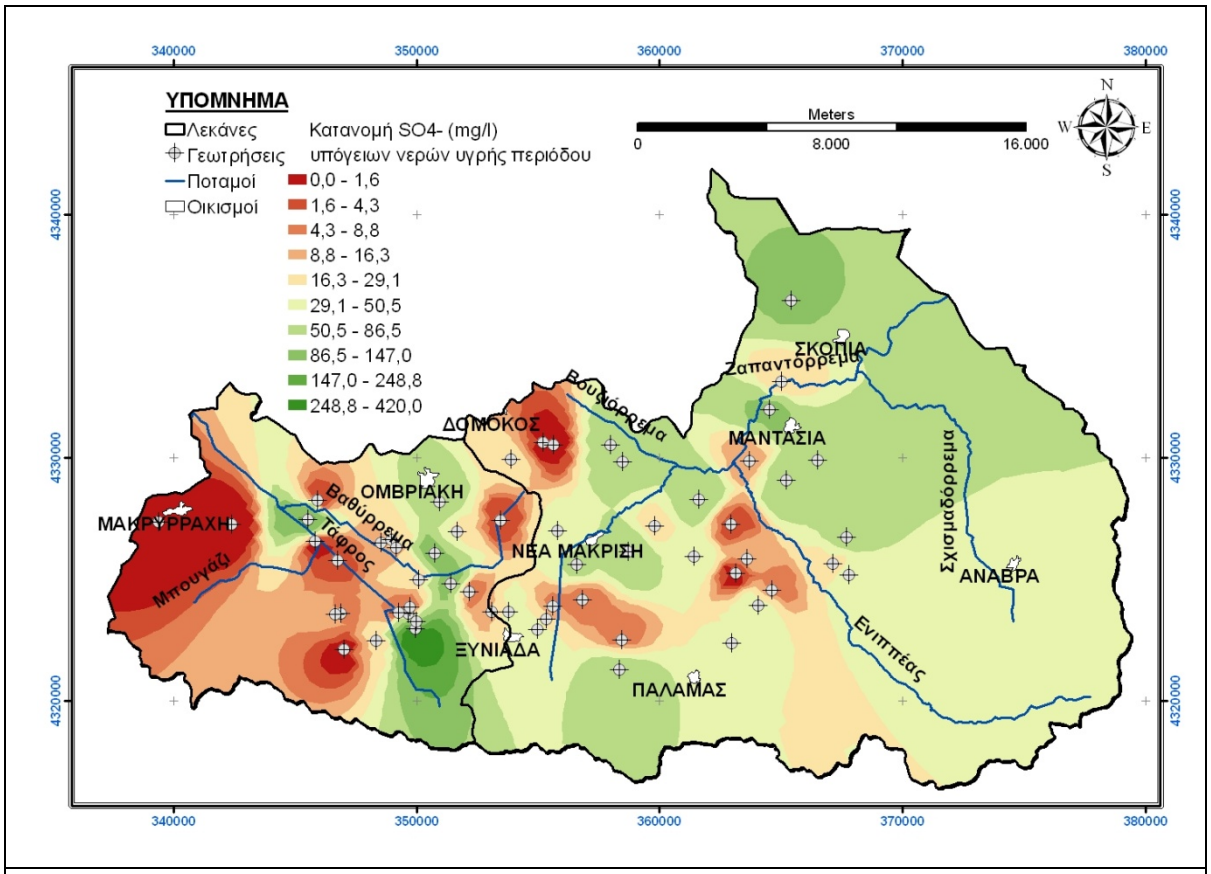
Σχήμα 9.37. Ιστόγραμμα σύγκρισης των θειικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

Στις περιπτώσεις εκείνες όμως στις οποίες οι συγκεντρώσεις Ca^{2+} είναι πολύ υψηλές, ενώ οι συγκεντρώσεις SO_4^{2-} είναι πολύ χαμηλά, τότε η διάλυση γυψούχων ορυκτών αποκλείεται ως πιθανή πηγή SO_4^{2-} (*Massmann et al*. 2004). Επιπρόσθετα, οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως η χρήση αγροχημικών και οργανικής προέλευσης λιπασμάτων και η ύπαρξη απορροφητικών βόθρων, συμβάλλουν στην ύπαρξη μεγάλων ποσοτήτων SO_4^{2-}. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τελευταίας επίδρασης αποτελεί, η πηγή Π12, που βρίσκεται εντός του οικισμού της Σκοπιάς.

Στα σχήματα 9.38 και 9.39 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των SO_4^{2-} ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας, όπου παρουσιάζονται και για τις δύο περιόδους δύο ζώνες. Η μία στην πρώην λίμνη Ξυνιάδας και η άλλη στο βορειανατολικό κομμάτι του οροπεδίου, όπου τα θειικά ιόντα εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις που αποδίδονται στις αιτίες που προαναφέρθηκαν. Εξάλλου και όσον αφορά στην περιοχή της λεκάνης Ξυνιάδας, οι *Τσιούμας κά.* (2008) διαπίστωσαν παρόμοιες τιμές SO_4^{2-}με διακύμανση στα υπόγεια νερά από 1,9 έως 246,4 mg/l καθώς το πρώην λιμναίο περιβάλλον έχει οδηγήσει στην απόθεση στρωμάτων οργανικού υλικού (*Κάρμης* 2010).

Η διάλυση βιογενών πετρωμάτων, όπως η τύρφη και ο λιγνίτης, που βρίσκονται εντός της πρώην λίμνης, οδηγούν στην περίσσεια μεγάλων ποσοτήτων θειικής ρίζας στα υπόγεια νερά της περιοχής. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτής της περίπτωσης είναι οι γεωτρήσεις Γ24, Γ27 και Γ18, στην οποία και παρουσιάστηκαν οι υψηλότερες τιμές SO_4^{2-} και για τις δύο περιόδους. Στις δύο τελευταίες γεωτρήσεις οι συγκεντρώσεις θειικών είναι υψηλές με ταυτόχρονα υψηλή Ε.C., Ca^{2+} και Mg^{2-} και μπορεί πιθανά σε αυτή την περίπτωση τα SO_4^{2-} να προέρχονται και από την διάλυση της γύψου. Σε αντίθεση, στις πηγές Π7 και Π8 το νερό προέρχεται από ασβεστικούς σχιστόλιθους καθώς έχει χαμηλή συγκέντρωση SO_4^{2-} και χαμηλή Ε.C. Σε αυτές τις περιπτώσεις το νερό χαρακτηρίζεται ασβεστικό (*Καλλέργης* 2000). Τα επίπεδα των SO_4^{2-} του οροπεδίου Δομοκού κινούνται σε παρόμοια επίπεδα με αυτά της περιοχής Ανατ. Κωπαΐδας-Υλίκης (2 έως 326 mg/l) (*Τζιρίτης κ.ά.* 2008). Αντίθετα, οι τιμές των θειικών είναι χαμηλότερες από εκείνες των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής του

Πύργου Ηλείας, των οποίων η διακύμανση ήταν για την υγρή περίοδο (0,5 έως 712 mg/l) και για την ξηρή (3,9 έως 737,5 mg/l) (*Καραπάνος* 2009).



Σχήμα 9.38. Χωρική κατανομή των θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

9.3.2.8 Ενώσεις αζώτου

9.3.2.8.1 Νιτρικά ιόντα (NO_3^-)

Τα νιτρικά ιόντα είναι το τελικό προϊόν της φυσικής αποσύνθεσης οργανικών αζωτούχων ενώσεων όπως φυτικής και ζωικής πρωτεΐνης. Μπορεί να προέρχεται από ζωικά λιπάσματα, περιττώματα, ή προηγούμενη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Η οξείδωση του ιόντος NH_4^+ που προκύπτει από την αποσύνθεση πραγματοποιείται σε δύο στάδια με τη βοήθεια μικροοργανισμών (*Βουδούρης* 2009):

$$2NH_4^+ + 2OH^- + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H^+ + 4H_2O$$

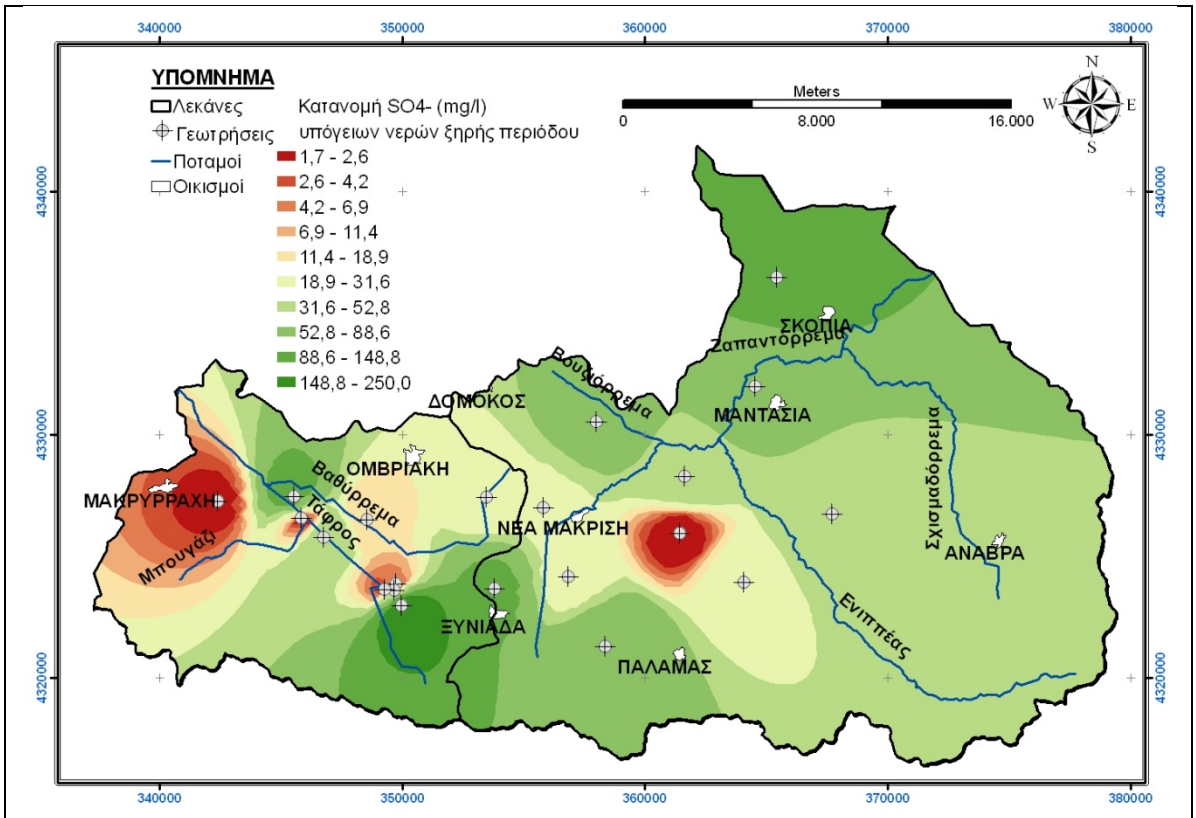
$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

Το Ν λόγω της μεγάλης διαλυτότητάς του σπανίζει στα πετρώματα, όμως λόγω της ευρείας χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων οι ενώσεις του αζώτου βρίσκονται σε αφθονία στα υπόγεια νερά. Τα αζωτοβακτήρια, κάτω από αερόβιες συνθήκες, μετατρέπουν το οργανικό άζωτο σε ανόργανο για να μπορέσει να αφομοιωθεί απ' τα φυτά. Η περίσσεια του ανόργανου αζώτου εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφόρους με το νερό αποστράγγισης (*Καλλέργης* 2000). Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Ν στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 46 mg/kg και στους αργίλους στα 600 (*Matthess* 1982), ενώ οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις των NO_3^- σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,001-0,2 mmol/l (0,1-12,4 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005).

Η κύρια διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών είναι η αναγωγή τους σύμφωνα με την αντίδραση:

$$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- \rightarrow N_2 + 6H_2O$$

Οι κύριες αναγωγικές ουσίες H_2S, CH_4, Fe_2^+ βρίσκονται διαλυμένες στο νερό σε μικρή αναλογία σε σχέση με τα νιτρικά και έτσι καθίσταται αδύνατη η πλήρης αναγωγή των νιτρικών. Τα νιτρικά είναι ένα πρόβλημα που θα ενταθεί στο μέλλον από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων. Άμεσα απαιτείται ο έλεγχος και η ορθολογικοποίηση της γεωργίας με



Σχήμα 9.39. Χωρική κατανομή των θειικών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

εφαρμογή των κανόνων ορθής γεωργικής πρακτικής, καθώς και η προώθηση εναλλακτικών μορφών καλλιέργειας (*Βουδούρης* 2009).

Το άζωτο θεωρείται φυσικό κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής, αρκεί να μην υπερβαίνει τα φυσιολογικά όρια. Σχηματίζει πολλές σημαντικές βιοχημικά χημικές ενώσεις, νιτροενώσεις, αμίνες, αμινοξέα, νιτρίλια, νουκλεϊκά οξέα, καθώς και πλήθος άλλων ανόργανων και οργανικών ενώσεων (*http://el.wikipedia.org*). Τα NO_3^- αν υπερβούν τα όρια θεωρούνται άκρως επικίνδυνα κι υπεύθυνα για πρόκληση σοβαρών ασθενειών όπως ο καρκίνος. Η ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. για τα NO_3^- είναι 50 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998). Τα πόσιμα νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες νιτρικών υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουν στα παιδιά την ασθένεια μεθαιμογλοβιναιμία, λόγω της αναγωγής τους σε νιτρώδη. Τα νιτρώδη και νιτρικά στο περιβάλλον του στομάχου σχηματίζουν N- νιτροζοενώσεις που είναι καρκινογόνες (*Παππά* 2001).

Η διακύμανση των NO_3^- στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι:

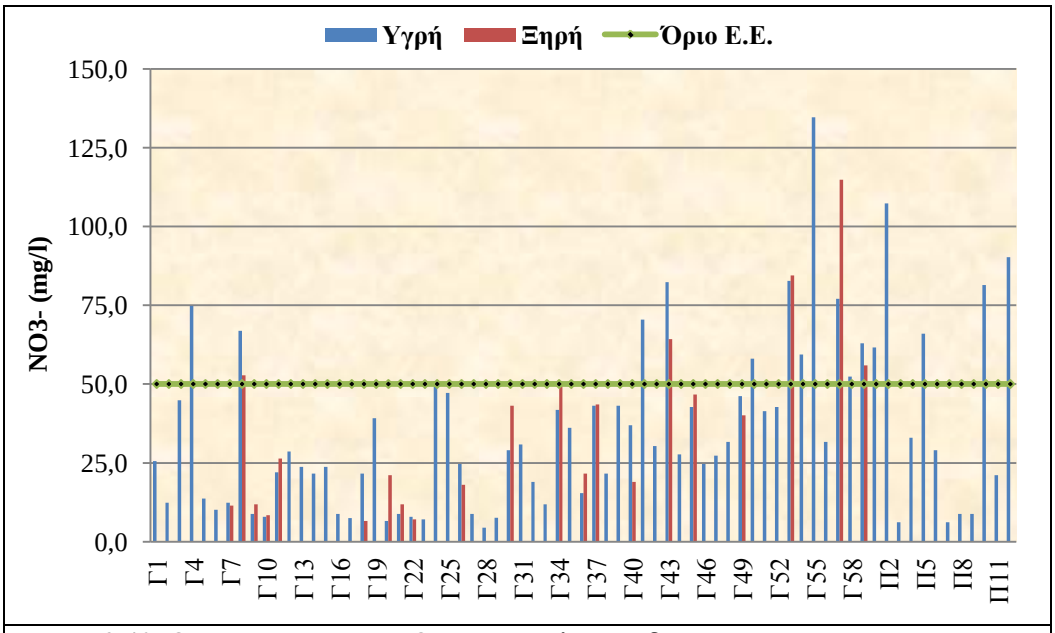
- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 4,4 έως 82,3 mg/l με μέση
- τιμή 26,4 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 6,6 mg/l έως 64,2 mg/l με μέση τιμή 28,3 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 58,1 έως 107,4 mg/l με μέση τιμή 82,7 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των NO_3^- είναι 8,8 και 134,6 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 60,5 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο

η διακύμανση είναι από 55,9 mg/l έως 114,8 mg/l με μέση τιμή 85,1mg/l.

- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα νιτρικά κυμαίνονται από 6,2 έως 74,8 mg/l και η μέση τιμή είναι 28,3 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή των NO_3^- είναι 26,4 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των NO_3^- κυμαίνονται από 6,2 έως 70,4 mg/l με μέση τιμή 32,0 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 11,4 έως 52,8 mg/l με μέση τιμή 27,4 mg/l.

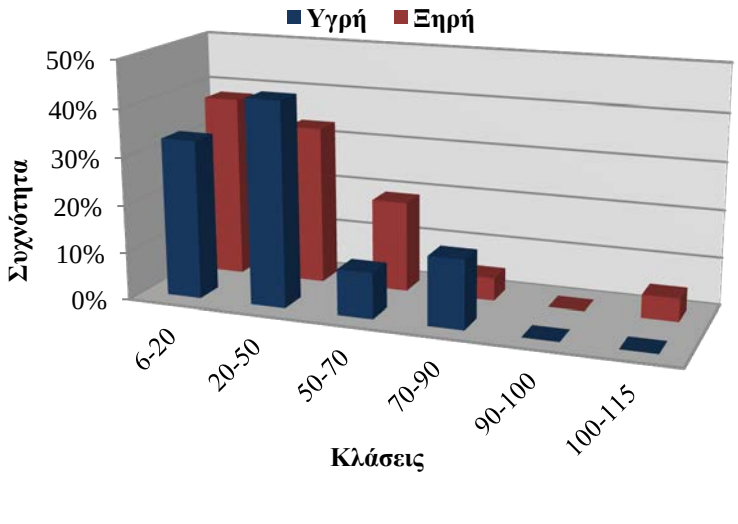
Οι τιμές των νιτρικών στην περιοχή έρευνας κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα για το σύνολο των δειγμάτων με χαμηλότερη τιμή 4,4 mg/l και υψηλότερη 134,6 mg/l. Ποσοστό 24% των δειγμάτων παρουσιάζουν τιμές πάνω από το ανώτερο επίπεδο των 50 mg/l που θέτει η Ε.Ε. για τα νιτρικά (Σχήμα 9.40). Η σύγκριση των δειγμάτων των γεωτρήσεων υγρής και ξηρής περιόδου δείχνει επικρατέστερες κλάσεις τις 6-20 και 20-30 mg/l και μικρές αυξομειώσεις από τη μια περίοδο στην άλλη (Σχήμα 9.41).

Οι υψηλές τιμές των NO_3^- στα υπόγεια νερά σχετίζονται με την εφαρμογή λιπασμάτων στις καλλιεργούμενες περιοχές ή ακόμη και με τη διαρροή λυμάτων από τις αστικές περιοχές (*Sikora et al.* 1976). Πιθανό είναι επιπλέον, να οφείλονται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις μέσω των αγροκτηνοτροφικών μεθόδων και εξαρτώνται και από το βάθος των υδροφόρων. Οι ρηχοί υδροφόροι δίνουν υπόγειο νερό γενικά πλούσιο σε NO_3^-, καθώς το νερό αυτών των υδροφόρων έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και τα NO_3^- είναι η σταθερή μορφή αζώτου σε οξειδωτικό περιβάλλον (*Καλλέργης* 2000).



Σχήμα 9.40. Οι συγκεντρώσεις NO_3^- στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (50 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

Οι γεωτρήσεις Γ55, Γ57 και Γ41 με υψηλές τιμές νιτρικών ιόντων στα δείγματα τους αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα ανθρωπογενών επιδράσεων με την τελευταία να βρίσκεται και κατάντη κτηνοτροφικής εκμετάλλευσης. Άξια αναφοράς είναι επίσης και η γεώτρηση Γ8 στην οποία οι συγκεντρώσεις οξυγόνου, NO_3^- και SO_4^{2-} είναι υψηλές. Σε αυτή την περίπτωση ο ρηχός της υδροφόρος πρέπει να τροφοδοτείται από νερά πλούσια σε οξυγόνο, όπως το νερό των βροχοπτώσεων, και πρέπει να μεταφέρονται ενώσεις οξυγόνου στα υπόγεια νερά όπως τα νιτρικά και τα θειικά. Τα δείγματα των πηγών Π1, Π2, Π5, Π10 και Π12 εμφανίζουν υψηλές τιμές NO_3^- που έχουν σχέση με τους απορροφητικούς βόθρους των οικισμών καθώς βρίσκονται στην κατάντη αυτών. Ειδικά η πηγή Π1, δέχεται διπλή επιβάρυνση έχοντας ανάντη της γεωργική εκμετάλλευση και τον οικισμό της Ομβριακής.



Σχήμα 9.41. Ιστόγραμμα σύγκρισης των νιτρικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

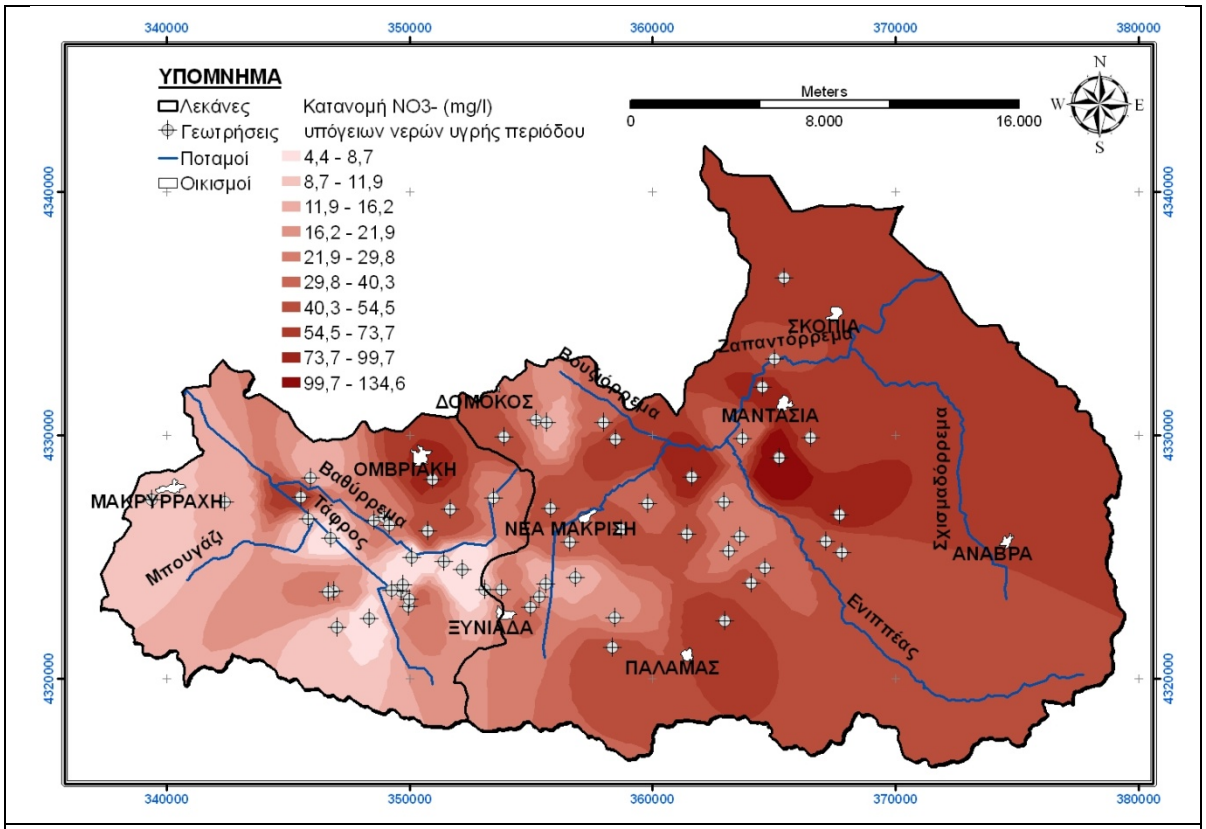
Η χωρική κατανομή των NO_3^- ιόντων παρουσιάζεται στα σχήματα 9.42 και 9.43. Διαπιστώνεται και για τις δύο περιόδους δύο περιοχές, η μία στην πρώην λίμνη Ξυνιάδας χαμηλών τιμών και η άλλη στο βορειανατολικό κομμάτι του οροπεδίου όπου τα νιτρικά ιόντα εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις, που αποδίδονται σε ανθρωπογενείς επιβαρύνσεις (*Charizopoulos et al*. 2013a,b). Παρόλο που παρουσιάζεται ως αναμενόμενο οι τιμές των νιτρικών στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας, λόγω της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων και του γενικότερου γεωχημικού πλαισίου να είναι υψηλές, εντούτοις εμφανίζονται χαμηλές και για τις δύο περιόδους. Η αιτία είναι η οργανική ύλη που έχει αποτεθεί από το πρώην λιμναίο περιβάλλον και της οποίας η αποδόμηση αφαιρεί οξυγόνο από το σύστημα. Οι αναγωγικές συνθήκες που δημιουργούνται οδηγούν παρουσία βακτηρίων σε αναγωγή των νιτρικών ή απονίτρωση (denitrification) στους υδροφόρους με τελικό προϊόν την αμμωνία. Το φαινόμενο επιβεβαιώθηκε και από τους *Τσιούμας κ.ά.* (2008) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι ο υδροφόρος που αναπτύσσεται στα κεντρικά τμήματα της λεκάνης Ξυνιάδας δεν εμφανίζει ιδιαίτερη επιβάρυνση σε νιτρικά, ενώ διαπιστώθηκε επιπλέον και στην περιοχή της τέως λίμνης Κωπαΐδας, περιοχή με παρόμοια χαρακτηριστικά (*Τζιρίτης κ.ά.* 2008).

9.3.2.8.2 Αμμωνικά ιόντα (NH_4^+)

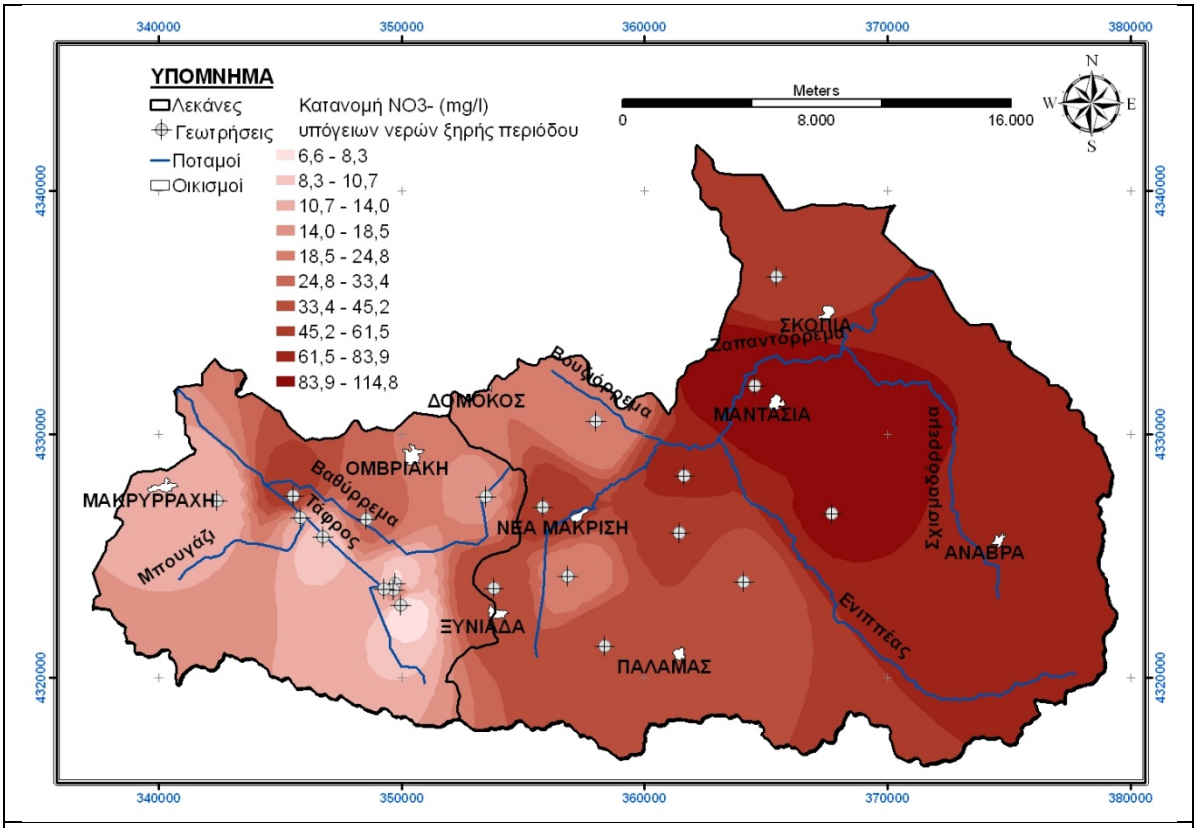
Η αμμωνία απαντάται με τις μορφές NH_4^+, NH_4OH και NH_3 και βρίσκεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα αστικά λύματα και σε βιομηχανικά απόβλητα και σε χαμηλότερες στα επιφανειακά νερά, κυρίως λόγω υδρόλυσης της ουρίας και της διάσπασης αζωτούχων ενώσεων. Στα υπόγεια νερά η συγκέντρωση του αμμωνίου είναι χαμηλή συνήθως κάτω από τα 0,5 mg/l. Ωστόσο, σε υπόγεια νερά όπου το υπέδαφος είναι πλούσιο σε χουμώδεις ουσίες ή περιέχει στρώματα πλούσια σε σίδηρο, το αμμώνιο μπορεί να ανέλθει στα 1-3 mg/l και σε νερό από πολύ βαθείς υδροφόρους έχουν παρατηρηθεί συγκεντρώσεις μέχρι και 50 mg/l (http://www.deyap.gr).

Σε πρόσφατα ρυπασμένα νερά το άζωτο βρίσκεται σε μορφή οργανικού αζώτου και αμμωνίας. Καθώς περνάει ο χρόνος το οργανικό άζωτο σταδιακά μετατρέπεται σε αμμωνία (NH_3), ενώ η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών οδηγεί την αμμωνία μέσω οξείδωσης σε νιτρώδη και νιτρικά. Συνεπώς, νερά που περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικού αζώτου και αμμωνίας θεωρούνται ότι έχουν ρυπανθεί πρόσφατα και επομένως ενέχουν μεγάλο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Νερά στα οποία το άζωτο βρίσκεται υπό μορφή νιτρικών σημαίνει

ότι έχουν ρυπανθεί πριν από αρκετό καιρό και επομένως δεν αποτελούν άμεση απειλή για τη δημόσια υγεία (*Παππά* 2001).



Σχήμα 9.42. Χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.43. Χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

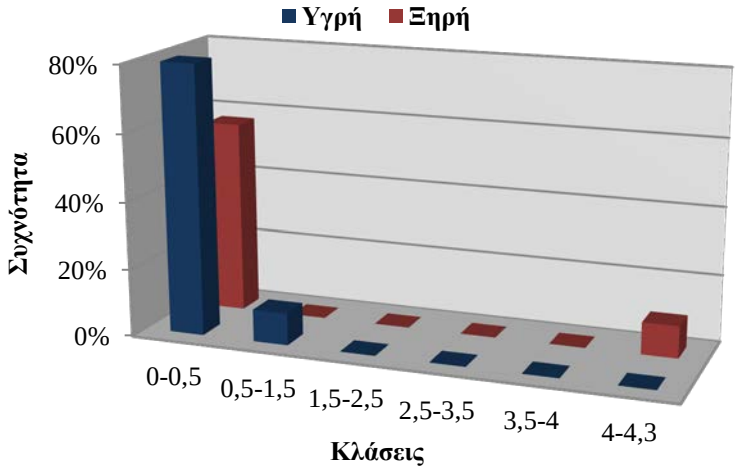
Η ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. για τα NH_4^+ είναι 0,5 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998), ενώ ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) θέτει σαν ανώτατο όριο την τιμή των 0,05 mg/l. Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίου ευνοεί την ανάπτυξη αυτοχθόνων βακτηριδίων και φυκιών στο νερό. Αποτελεί βασικό θρεπτικό των οργανισμών αυτών και συμβάλλει επίσης σημαντικά στη διάβρωση του χαλκού και των κραμάτων αυτού (*http://www.deyap.gr*).

Η διακύμανση των NH_4^+ στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,00 έως 0,70 mg/l με μέση τιμή 0,16 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,00 mg/l έως 4,26 mg/l με μέση τιμή 0,64 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,01 έως 0,23 mg/l με μέση τιμή 0,12 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των NH_4^+ είναι0,00 και 0,53 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,10 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,00 mg/l έως 0,23 mg/l με μέση τιμή 0,08 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα αμμωνιακά ιόντα κυμαίνονται από 0,00 έως 0,23 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,04 mg/l. Στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή των NH_4^+ είναι 0,12 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των NH_4^+ κυμαίνονται από 0,00 έως 0,59 mg/l με μέση τιμή 0,13 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,00 έως 0,14 mg/l με μέση τιμή 0,05 mg/l.

Οι τιμές των αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για το σύνολο των δειγμάτων είναι 0,00 και 4,26 mg/l αντίστοιχα και ποσοστό 26% των δειγμάτων παρουσιάζουν τιμές συγκέντρωσης 0,00 mg/l. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στις πηγές και οι υψηλότερες στις γεωτρήσεις, ενώ η σύγκριση εμφανίζει επικρατέστερη κλάση την 0-0,5 και για τις δύο περιόδους (Σχήμα 9.44). Εξαίρεση στον κανόνα αυτό, όπως και σε αυτό των χαμηλών τιμών αποτέλεσαν οι γεωτρήσεις Γ20 και Γ22 της ξηρής περιόδου των οποίων οι τιμές ήταν 4,08 και 4,26 mg/l αντίστοιχα. Η υψηλή θερμοκρασία των νερών, η χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και οι χαμηλές τιμές του Eh υποδηλώνουν αναγωγικές συνθήκες σε αυτούς τους υδροφόρους και αποδόμηση νιτρικών παρουσία βακτηρίων.

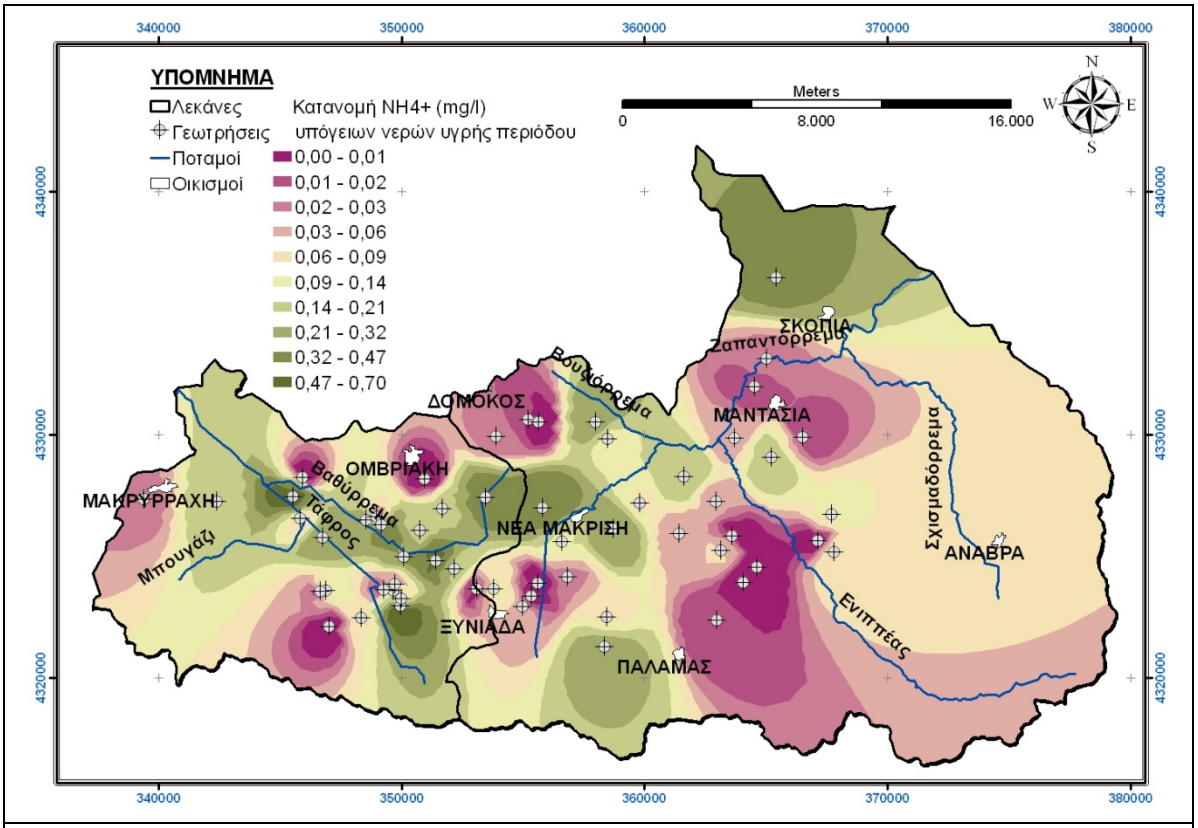
Στα σχήματα 9.45 και 9.46 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των NH_4^+ ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας. Διαπιστώνονται και για τις δύο περιόδους η αυξητική



Σχήμα 9.44. Ιστόγραμμα σύγκρισης των αμμωνιακών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

τάση των τιμών στην περιοχή της πρώην λίμνης και τοπικά γύρω από τους οικισμούς. Σχετίζονται με ρύπανση από τη χρήση αμμωνιακών λιπασμάτων, την αναγωγή νιτρικών από τις καλλιεργητικές μεθόδους και από τους απορροφητικούς βόθρους των οικισμών (*Charizopoulos et al.* 2013a,b). Εξάλλου, είναι γνωστό ότι η παρουσία νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων στα υπόγεια νερά φανερώνει την ρύπανση τους από ανθρωπογενείς παράγοντες. Επιπλέον, σύμφωνα με τους *Sikora et al.* (1976), στους σηπτικούς βόθρους συγκεντρώνεται λάσπη, τα λύματα της οποίας περιέχουν από 40 έως 80 mg/l NH_4^+. Έτσι η τροφοδότηση των υπόγειων νερών με λύματα μη στεγανών βόθρων αυξάνουν την περιεκτικότητα τους σε αμμωνιακά ιόντα (*Καλλέργης* 2000).

Στην περιοχή της πρώην λίμνης, όπου διαπιστώθηκαν και οι υψηλότερες τιμές στα δείγματα των γεωτρήσεων (Γ20 και Γ22), η συγκέντρωση των αμμωνιακών ιόντων στα νερά προέρχεται από την αναγωγή των νιτρικών ιόντων που συντελείται μέσω των αζωτοβακτηρίων κατά την αντίδραση: $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow N_2\uparrow(g) \rightarrow NH_4^+$. Η σύγκριση των NH_4^+ των υπόγειων νερών του οροπεδίου Δομοκού με την ευρύτερη περιοχή του Πύργου Ηλείας έδειξε παρόμοιες τιμές αλλά αντίστροφο χρονικό πρότυπο με τις υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται την υγρή περίοδο (διακύμανση 0,00 έως 3,62 mg/l) (*Καραπάνος* 2009).

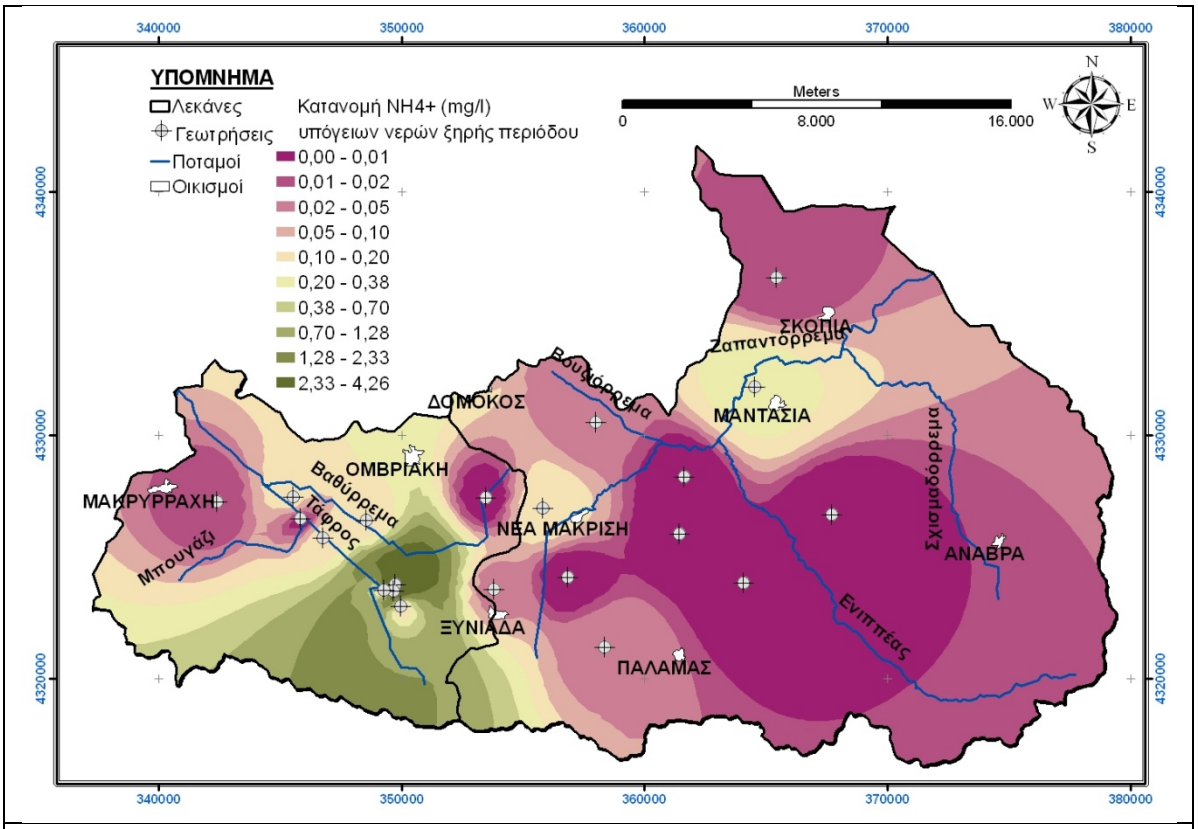


Σχήμα 9.45. Χωρική κατανομή των αμμωνιακών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

9.3.2.9 Φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)

Τα φωσφορικά ιόντα βρίσκονται στο υπόγειο νερό, ανάλογα με την τιμή του pH, σε διάφορες μορφές: $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}. Κύριες πηγές ρύπανσης από ενώσεις φωσφόρου είναι η γεωργική χρήση λιπασμάτων, η κτηνοτροφία, οι διαρροές από υπονόμους, βόθρους και η αποχέτευση εν γένει αποβλήτων (*Καλλέργης* 2000, *Βουδούρης* 2009). Η μεγαλύτερη ποσότητα ανόργανου φωσφόρου οφείλεται στα ανθρώπινα λύματα και προέρχεται από τη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά τον μεταβολισμό. Επίσης υπάρχει σε πολλά απορρυπαντικά και στα φωσφορικά λιπάσματα. Μικρά ποσά φωσφορικών εισέρχονται στα δίκτυα από την

επεξεργασία του νερού, όπου χρησιμοποιούνται για να εμποδιστεί η διάβρωση στις σωληνώσεις και τα επικαθήματα στους λέβητες Ο φώσφορος, όπως και το άζωτο, είναι ένα βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αλγών και η περιεκτικότητά του στα νερά αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στον ευτροφισμό των επιφανειακών νερών (*Παππά* 2001).



Σχήμα 9.46. Χωρική κατανομή των αμμωνιακών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Οι συγκεντρώσεις του P στα διάφορα πετρώματα ανέρχονται: στα μαγματικά 1.100 mg/kg, στους ψαμμίτες 539 mg/kg, στους αργίλους στα 600 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 281 mg/kg (*Matthess* 1982). Τα PO_4^{3-} στα υπόγεια νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο προέρχονται από τον εδαφικό μανδύα όταν δεν αφομοιώνονται πλήρως από τη χλωρίδα (*Καλλέργης* 2000), ενώ οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις τους είναι 0-0,02 mmol/l (0,0-1,9 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005). Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση των P_2O_5 στο νερό είναι 5 mg/l (≈6,69 mg/l PO_4^{3-}).

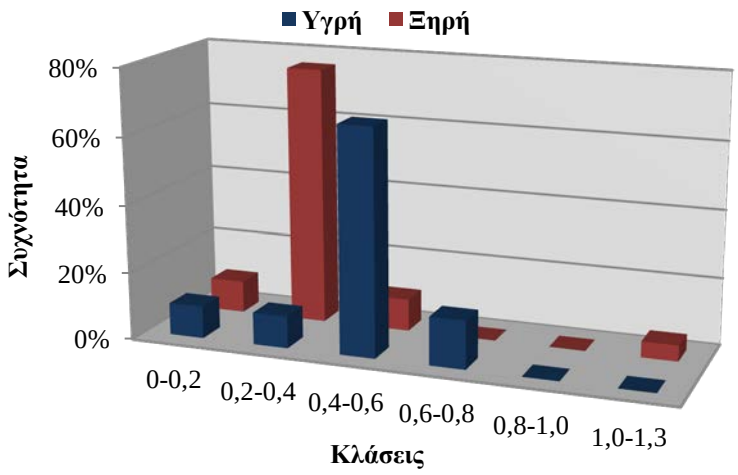
Ο φώσφορος είναι ένα απαραίτητο στοιχείο που βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα στο ανθρώπινο σώμα και αποτελεί σημαντικό συστατικό και σημαντικών βιοχημικά οργανοφωσφορικών ενώσεων, όπως (μεταξύ άλλων) τα DNA, RNA, ATP και ADP. Η συνήθης μορφή με την οποία βρίσκεται στον οργανισμό είναι η λεκιθίνη (*http://el.wikipedia.org*). Περιέχεται κατά κύριο λόγο στα οστά (σε ποσοστό 85%), στους μύες σε ποσοστό 14% καθώς επίσης και στις κυτταρικές μεμβράνες. Η έλλειψη P σπάνια υφίσταται στην ανθρώπινη διατροφή. Παρόλα αυτά, διάφορες παθολογικές καταστάσεις όπως ο σακχαρώδης διαβήτης, η νεφρική δυσλειτουργία και ο πρόωρος τοκετός μπορούν να συσχετιστούν με υποφωσφαταιμία, δηλαδή με χαμηλά επίπεδα φωσφόρου στο αίμα και εξαντλημένα αποθέματα φωσφόρου (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Η διακύμανση των PO_4^{3-} στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,29 έως 0,77 mg/l με μέση τιμή 0,54 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,29 mg/l έως 0,43 mg/l με μέση τιμή 0,35 mg/l.

- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,17 έως 0,51 mg/l με μέση τιμή 0,34 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των PO_4^{3-} είναι 0,08 και 0,50 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,29 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,01mg/l έως 0,25 mg/l με μέση τιμή 0,17 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα φωσφορικά ιόντα κυμαίνονται από 0,10 έως 0,54 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,26 mg/l ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή των PO_4^{3-} είναι 0,15 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των PO_4^{3-} κυμαίνονται από 0,16 έως 0,78 mg/l με μέση τιμή 0,40 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,24 έως 1,25 mg/l με μέση τιμή 0,59 mg/l.

Οι τιμές των φωσφορικών ιόντων στην περιοχή έρευνας κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα για το σύνολο των δειγμάτων, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στις γεωτρήσεις και τις χαμηλότερες στις πηγές. Η σύγκριση υγρής και ξηρής περιόδου δείχνει επικρατούσες κλάσεις τις 0,4-0,6 και 0,2-0,4 αντίστοιχα, ενώ παρατηρείται ελάχιστη πτώση των τιμών (Σχήμα 9.47).



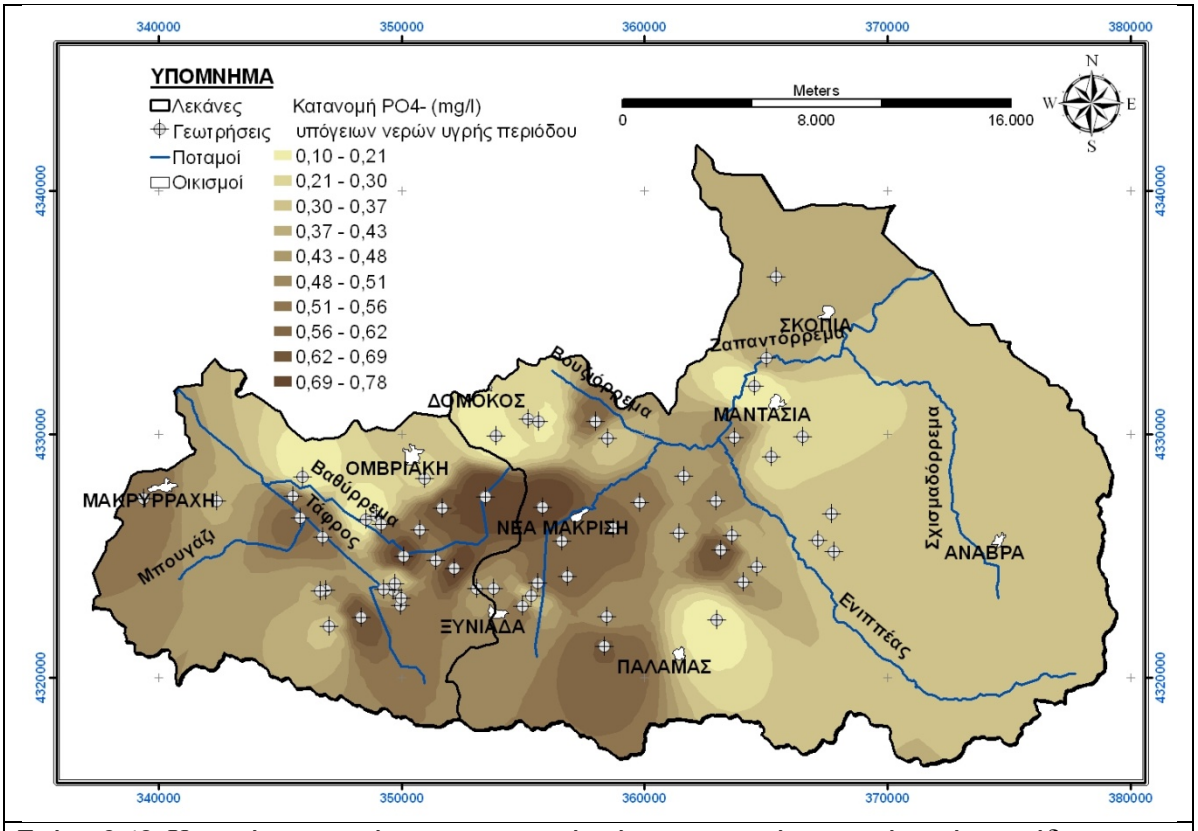
Σχήμα 9.47. Ιστόγραμμα σύγκρισης των φωσφορικών των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

Η χαμηλότερη τιμή είναι στα όρια του μη ανιχνεύσιμου (0,01 mg/l) και η υψηλότερη 1,25 mg/l, ενώ κανένα από τα δείγματα δεν παρουσιάζει τιμή πάνω από 6,69 mg/l, το ανώτερο επίπεδο που θέτει η Ε.Ε. για τα PO_4^{3-}. Οι τιμές των PO_4^{3-} κινήθηκαν στα ίδια χαμηλά επίπεδα με τις περιοχές Ανατ. Κωπαΐδας-Υλίκης (0,1-1,2 mg/l) (*Τζιρίτης κ.ά.* 2008) και λεκάνης Μεγάρων (0,00-4,74 mg/l) (*Gamvroula et al.* 2011).

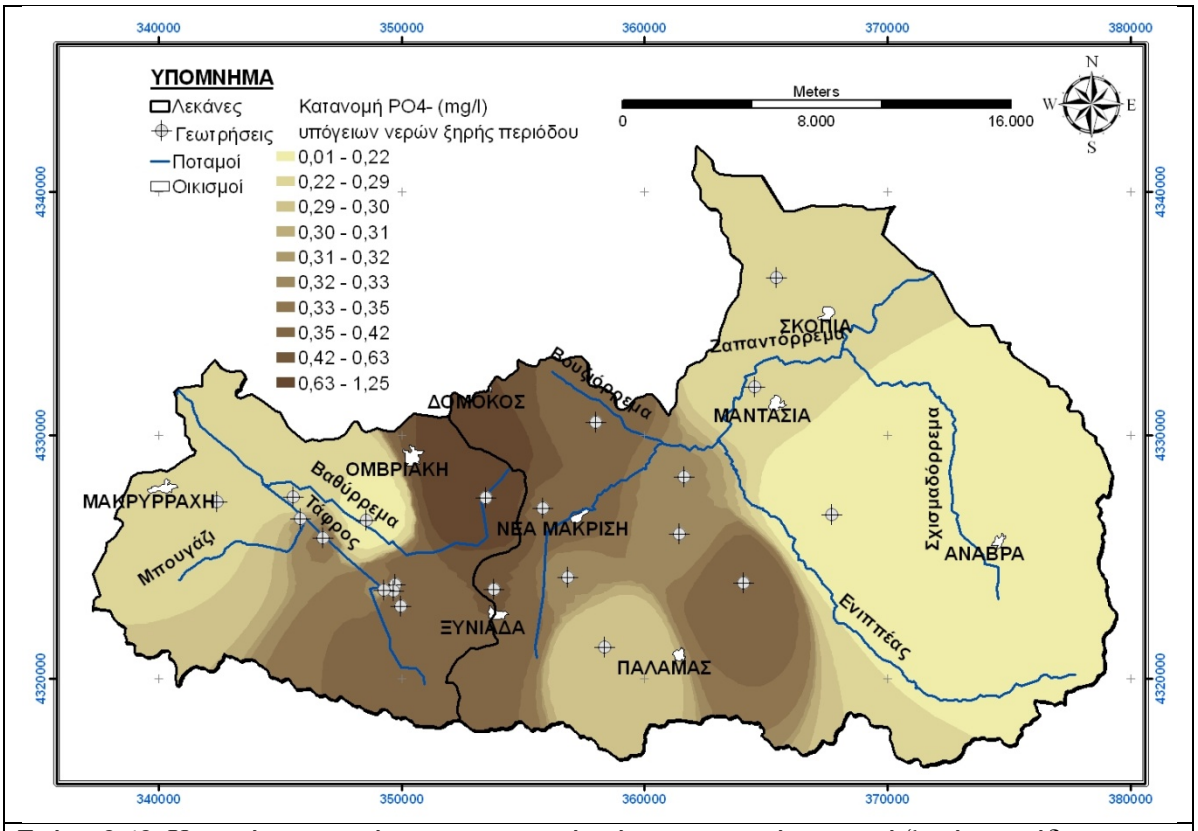
Στα σχήματα 9.48 και 9.49 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων στην περιοχή έρευνας. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλές τιμές εστιάζονται στην κεντρική περιοχή του οροπεδίου και πλησίον των οικισμών. Συνδέονται με την παρουσία των PO_4^{3-} στα ηφαιστειογενή πετρώματα, με τη μακροχρόνια χρήση και εφαρμογή λιπασμάτων, καθώς και με και την έλλειψη οργανωμένου αποχετευτικού δικτύου των οικισμών.

9.3.2.10 Βρώμιο (Br^-)

Το κυριότερο ορυκτό του βρωμίου είναι ο βρωμιοκαρναλλίτης. Οι κύριες πηγές βρωμιούχων ιόντων στα νερά σχετίζονται με την τοπική γεωλογία, τη φυσική κλασματοποίηση και τις ανθρωπογενείς εκπομπές π.χ. παραγωγή σόδας, παραγωγή καλίου



Σχήμα 9.48. Χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.49. Χωρική κατανομή των φωσφορικών ιόντων στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

και κατά την εξόρυξη άνθρακα. Το βρώμιο δε βρίσκεται ελεύθερο στη φύση αλλά συνήθως με τη μορφή αλάτων κυρίως του νατρίου, του καλίου και του μαγνησίου. Τα άλατα αυτά

συνοδεύουν τα αντίστοιχα χλωριούχα αλλά σε μικρότερη αναλογία από εκείνα. Έτσι το θαλάσσιο νερό περιέχει βρωμιούχα άλατα και στα υπόγεια νερά που βρίσκονται κοντά σε παραθαλάσσιες περιοχές, οι υψηλές συγκεντρώσεις βρωμιούχων ιόντων αποδίδονται στη διείσδυση του θαλάσσιου νερού στον υδροφόρο (http://www.healthaffair.gr/waterall.htm). Το ιόν βρωμίου είναι ένας καλός δείκτης θαλάσσιας διείσδυσης και η συγκέντρωση του στο θαλασσινό νερό ανέρχεται σε 65 mg/l βρωμίου, ενώ στα γλυκά νερά είναι μικρότερη από 0,01 mg/l (*Βουδούρης* 2009). Η ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. για τα Br^- είναι 0,01 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998).

Το βρώμιο είναι βαθυκόκκινο υγρό, είναι οξειδωτική ουσία και σχηματίζει σταθερότερες ενώσεις με το οξυγόνο, έχει δυσάρεστη μυρωδιά, διαλύεται στο νερό και σχηματίζει το βρωμιούχο νερό. Χρησιμοποιείται στη φαρμακευτική για την παρασκευή καταπραϋντικών φαρμάκων, όπως το βρωμιούχο κάλιο και στη φωτογραφική τέχνη για την παρασκευή του βρωμιούχου αργύρου, με το οποίο παρασκευάζουμε τη φωτογραφική πλάκα. Επιπλέον για την παρασκευή χρωμάτων και προστίθεται υπό μορφή οργανικής ένωσης στη βενζίνη σαν αντικροτικό (http://www.healthaffair.gr/waterall.htm).

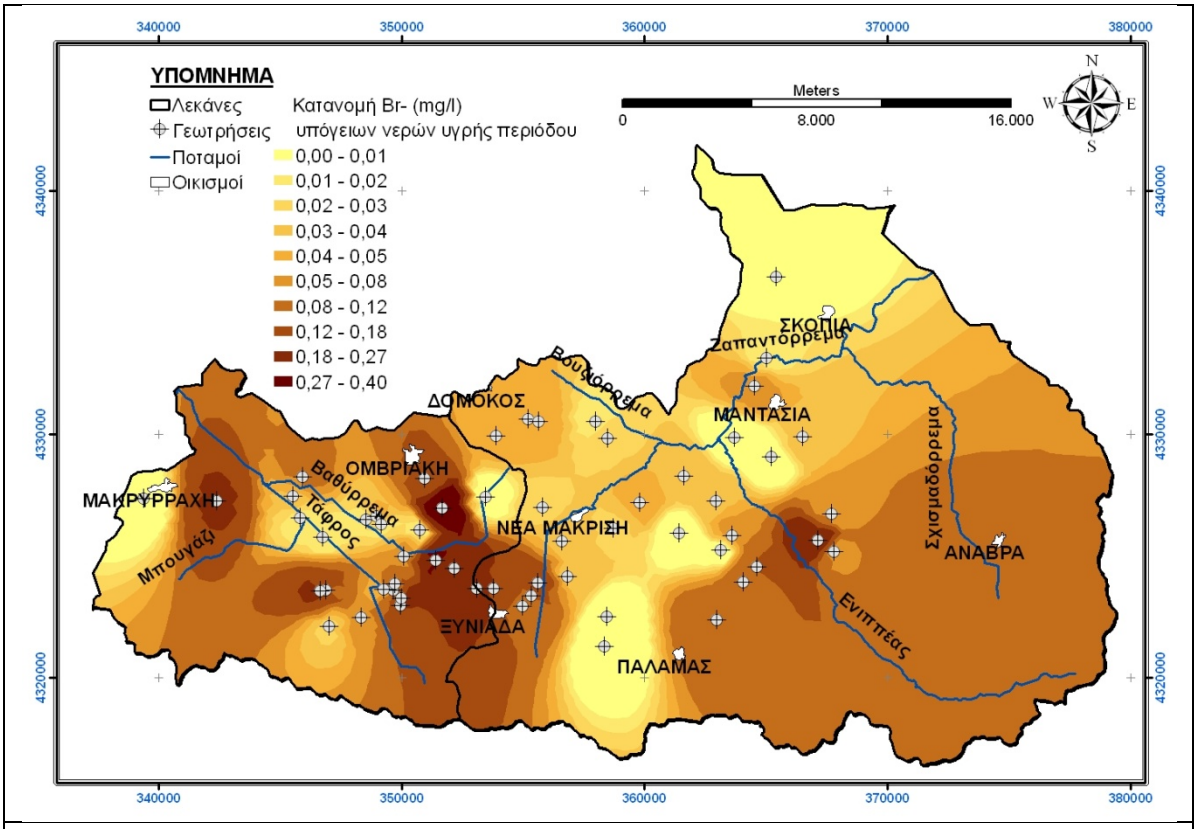
Το βρώμιο βρίσκεται πάντοτε στους ζωικούς και τους φυτικούς ιστούς και σε διάφορες σωματικές εκκρίσεις, όπως τα δάκρυα, το σάλιο, ο ιδρώτας, το γάλα και η χολή, ενώ το αίμα υγιούς ανθρώπου περιέχει από 0,11 έως 2,00 mq%. Η εκλεκτική απορρόφηση βρωμίου από το θυροειδή αδένα, τα νεφρά και την υπόφυση διαπιστώθηκε με τη βοήθεια ραδιενεργού βρωμίου (^{82}Br). Το βρώμιο επαυξάνει τις κατασταλτικές διεργασίες του εγκεφάλου και έτσι δρα θεραπευτικά με το να επαναφέρει στην ισορροπία το νευρικό σύστημα. Ταυτόχρονα, η απορρόφηση του από το θυροειδή αδένα και ο συναγωνισμός του με το ιώδιο έχει επίδραση στη δραστηριότητα του αδένα και κατά συνέπεια στο μεταβολισμό (http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CF%81%CF%8E%CE%BC%CE%B9%CE%BF). Διαπιστώθηκε επίσης, ότι κατά τον οζονισμό του νερού λαμβάνει χώρα η οξείδωση των βρωμιούχων ιόντων, προς βρωμικά ιόντα (BrO_3^-). Τα BrO_3^- είναι ισχυρά οξειδωτικά και επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν ότι ευθύνονται τόσο για την εμφάνιση καρκίνου στα νεφρά όσο και για την εξέλιξή του (*Πεταλωτής και Φυτιάνος* 2004).

Στην περιοχή έρευνας η διακύμανση των Br^- στα υπόγεια νερά είναι:

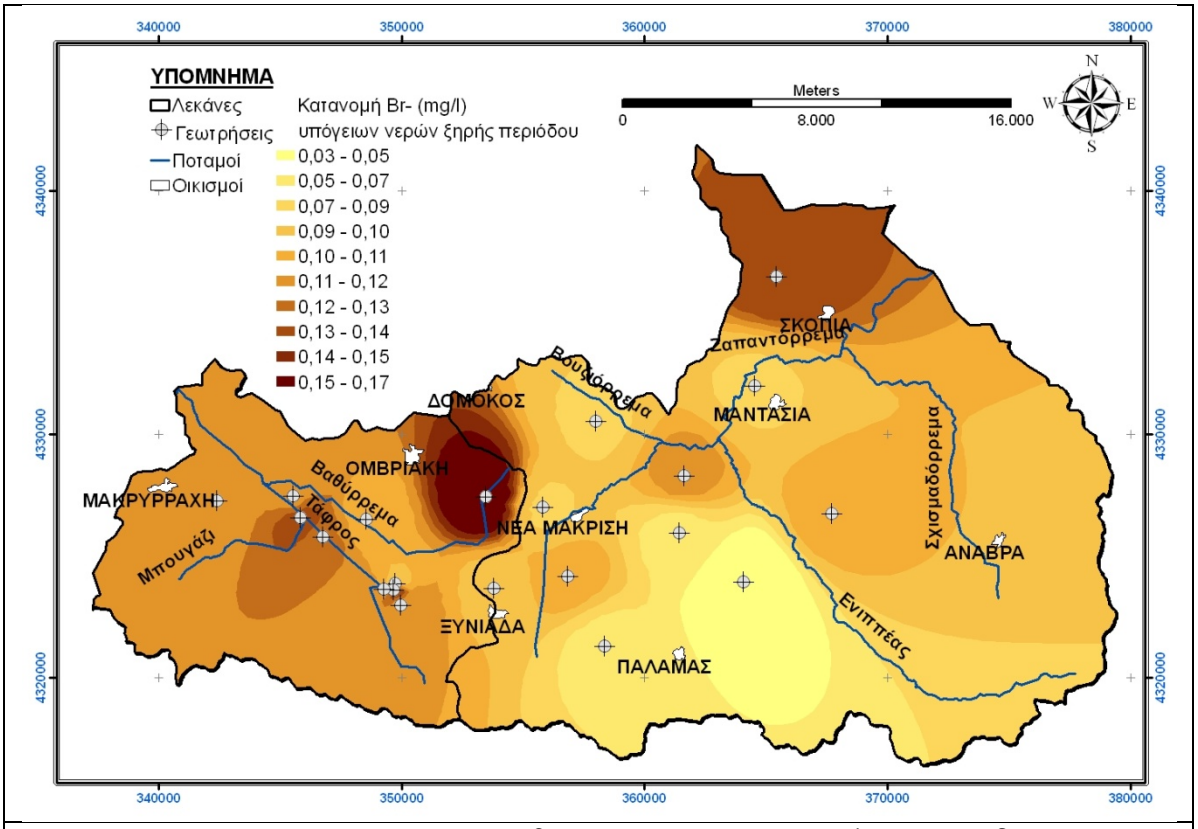
- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,00 έως 0,40 mg/l με μέση τιμή 0,09 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,03 mg/l έως 0,15 mg/l με μέση τιμή 0,10 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,11 έως 0,15 mg/l με μέση τιμή 0,13 mg/l. Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των Br^- είναι 0,00 και 0,64 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,10 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,09 mg/l έως 0,14 mg/l με μέση τιμή 0,11 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα Br^- κυμαίνονται από 0,00 έως 0,12 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,05 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή των Br^- είναι 0,11 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των βρωμιούχων ιόντων κυμαίνονται από 0,00 έως 0,20 mg/l με μέση τιμή 0,06 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,12 έως 0,17 mg/l με μέση τιμή 0,14 mg/l.

Οι τιμές των ιόντων Βρωμίου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από 0,00 έως 0,64 mg/l και ποσοστό 81% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από 0,01 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. Η παρουσία των Br^- είναι κυρίως γεωγενής και σχετίζεται με την παρουσία των ηφαιστειακών πετρωμάτων (pillow lavas) που αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας (*Charizopoulos et al.* 2013b) και σε ρύπανση από ανθρωπογενείς παράγοντες με τη χρήση αγροχημικών.

Η χωρική κατανομή των ιόντων Br^- παρουσιάζεται στα σχήματα 9.50 και 9.51 από τις οποίες διαπιστώνεται ότι οι υψηλές τιμές εστιάζονται στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις των δύο λεκανών και έχουν σχέση με τα σκευάσματα που χρησιμοποιούνται στις αγροκαλλιέργειες.



Σχήμα 9.50. Χωρική κατανομή των ιόντων βρωμίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.51. Χωρική κατανομή των ιόντων βρωμίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Η ανίχνευση ιόντων βρωμίου στα υπόγεια νερά των περιοχών αυτών είναι μεταξύ άλλων πιθανά ένδειξη χρήσης βρωμιούχου μεθυλίου, σκευάσματος που βοηθά στην ωρίμανση

γεωργικών προϊόντων, αλλά που είναι τοξική ένωση και απαγορεύεται να υπάρχει σε αγροτικά προϊόντα.

9.3.2.11 Ιώδιο (Γ)

Το ιώδιο είναι χαρακτηριστικό αλογόνο, αν και είναι το λιγότερο δραστικό από τα υπόλοιπα στοιχεία της ομάδας. Αντιδρά με μέταλλα δίνοντας τα αντίστοιχα άλατα και επίσης με οργανικές ενώσεις αντικαθιστώντας άτομα υδρογόνου (*http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CF%8E%CE%B4%CE%B9%CE%BF*). Οι κύριες πηγές του ιωδίου στα υπόγεια ύδατα είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί, τα εδάφη και η ατμόσφαιρα. Οι συγκεντρώσεις του κυμαίνονται από 0,01 έως 70 μg/l και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωγραφική θέση, την τοπική γεωλογία και τα εδάφη της κάθε περιοχής. Υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να βρεθούν στα αλμυρά νερά, όπως οι παράκτιες και άγονες ή ημιάνυδρες περιοχές. Το ιώδιο βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στα περισσότερα πετρώματα. Από τα ιζηματογενή πετρώματα, ιλυόλιθοι και σχιστόλιθοι συνήθως έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις (*British Geological Survey* 2000). Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) θέτει σαν μέση συγκέντρωση του ολικού ιωδίου στο πόσιμο νερό στις ΗΠΑ την τιμή των 4 μg/l και σαν μέγιστη συγκέντρωση τα 18 μg/l, ενώ συστήνεται συγκέντρωση 2,5 mg/l (*Ellis et al.* 1993).

Το ιώδιο συμμετέχει στην ενεργοποίηση των μυών και των κυττάρων του νευρικού συστήματος και επηρεάζει τον θυρεοειδή αδένα, καθώς παίρνει μέρος στον σχηματισμό των ορμονών του. Οι ορμόνες αυτές είναι απαραίτητες για τη σωστή ανάπτυξη του ανθρώπου και είναι ζωτικής σημασίας για την σωστή ανάπτυξη των βρεφών πριν και μετά την γέννησή τους (*http://bestrong.org.gr*). Η ανεπάρκεια ιωδίου μπορεί να οδηγήσει σε ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων υγείας, που κυμαίνονται από ήπια νοητική διαταραχή μέχρι σοβαρή νοητική υστέρηση, ελαττωμένο ρυθμό ανάπτυξης, απάθεια και διαταραχή της κίνησης, της ομιλίας ή της ακρόασης. Λόγω της μειωμένης παραγωγής των ορμονών του θυρεοειδούς, η έλλειψη ιωδίου προκαλεί αντισταθμιστική υπερτροφία του θυρεοειδούς αδένα με αποτέλεσμα την ασθένεια της βρογχοκήλης (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Η ημερήσια λήψη ιωδίου τοποθετείται στα 150 μg και συνήθως στο κοινό αλάτι προστίθεται ιώδιο για τη διασφάλιση ενός ικανοποιητικού διατροφικού επιπέδου. Η διατροφή συμπληρώνεται από την ενίσχυση του μαγειρικού αλατιού με ιώδιο. Πηγές φυσικού ιωδίου είναι τα ψάρια, τα φύκια, το ιωδιούχο αλάτι, το μουρουνέλαιο, τα θαλασσινά, οι ηλιόσποροι, τα φιστίκια, το συκώτι και τα λαχανικά (*http://bestrong.org.gr*). Η Κίνα, το Καζακστάν και η Ρωσία είναι ανάμεσα στις χώρες που επηρεάζονται από έλλειψη ιωδίου με τις δύο πρώτες να λαμβάνουν μέτρα με την προσθήκη ιωδίου στο αλάτι (*http://www.crystalight.gr*).

Στην περιοχή έρευνας η διακύμανση των I^- στα υπόγεια νερά είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,00 έως 0,55 mg/l με μέση τιμή 0,17 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,13 mg/l έως 0,28 mg/l με μέση τιμή 0,22 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,06 έως 0,26 mg/l με μέση τιμή 0,16 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των I^- είναι 0,00 και 1,01 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,13 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,17 mg/l έως 0,22 mg/l με μέση τιμή 0,19 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα I^- κυμαίνονται από 0,00 έως 0,13 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,05 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή των I^- είναι 0,17 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των I^- κυμαίνονται από 0,03 έως 0,39 mg/l με μέση τιμή 0,13 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,15 έως 0,23 mg/l με μέση τιμή 0,20 mg/l.

Οι τιμές των ιόντων Ιωδίου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από 0,00 έως 1,01

mg/l, ενώ δεν διαπιστώθηκε κάποια σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου. Η παρουσία των Γ στα υπόγεια νερά οφείλεται σε γεωγενείς παράγοντες και οι χαμηλές συγκεντρώσεις του σχετίζονται με τις υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου στο έδαφος. Το ασβέστιο δεσμεύει το ιώδιο προκαλώντας χαμηλές συγκεντρώσεις στα υπόγεια νερά και μικρή απορρόφηση από τα φυτά (*Fuge and Long* 1989). Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτελούν οι γεωτρήσεις Γ4, Γ5, Γ11, Γ12 και Γ43 και οι πηγές Π7 και Π8 των οποίων οι υδροφόροι τροφοδοτούνται από ανθρακικούς σχηματισμούς. Αντίθετα οι υψηλές συγκεντρώσεις ιωδίου στα δείγματα Γ8, Γ24 και Γ27 συνδυάζονται με υψηλές συγκεντρώσεις θειικών ιόντων. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι υψηλές συγκεντρώσεις του ιωδίου σχετίζονται με την ύπαρξη οργανικής ύλης, θειούχων ορυκτών και οξειδίων του σιδήρου (*British Geological Survey* 2000).

Η χωρική κατανομή των ιόντων παρουσιάζεται στα σχήματα 9.52 και 9.53 από τις οποίες διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές στην περιοχή του πρώην λιμναίου περιβάλλοντος με την περίσσειας οργανικής ύλης και οι χαμηλές τιμές στις περιοχές τροφοδοσίας από ασβεστολιθικά πετρώματα.

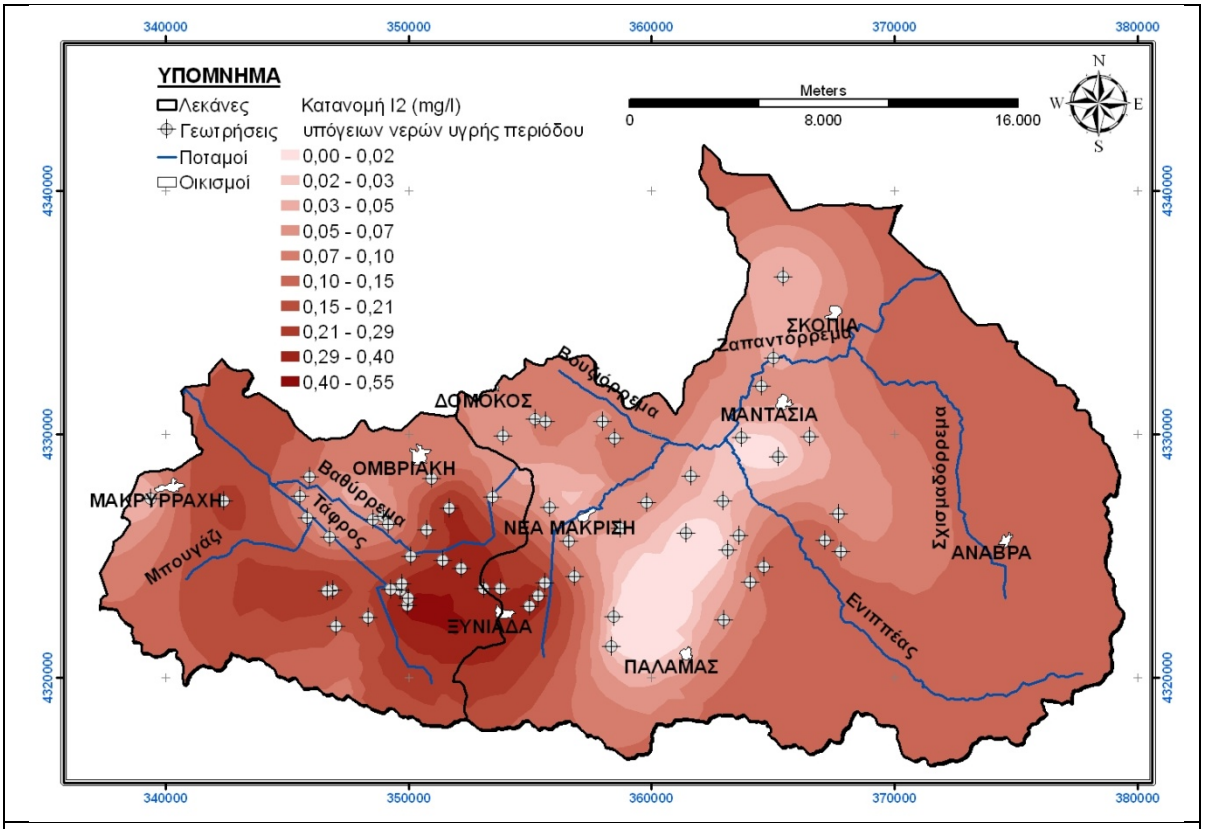
9.3.2.12 Φθοριούχα ιόντα (F^-)

Το φθόριο δεν απαντάται σε στοιχειακή μορφή στη φύση επειδή είναι πολύ δραστικό, ενώ βρίσκεται συχνότερα στα υπόγεια νερά και λιγότερο στα επιφανειακά. Οι υψηλές συγκεντρώσεις στα επιφανειακά νερά μπορεί να προκύψουν από βιομηχανική ρύπανση (παραγωγή αλουμινίου, βιομηχανίες χάλυβα και γυαλιού, παραγωγή λιπασμάτων και κεραμικών). Ίχνη ή και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συχνά σχετίζονται με υπόγεια προέλευση. Περιοχές που είναι πλούσιες σε φθοριούχα ορυκτά μπορεί να εμπλουτίζουν τα υπόγεια νερά με συγκεντρώσεις μέχρι και 10 mg/l (http://www.deyap.gr). Στα υπόγεια νερά βρίσκεται με μορφή φθοριούχων αλάτων που προέρχονται από ηφαιστειογενή πετρώματα και είναι διαβρωτικό και τοξικό. Προέρχεται από τη μετατροπή φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη με απελευθέρωση φθορίου (*Βουδούρης* 2009):

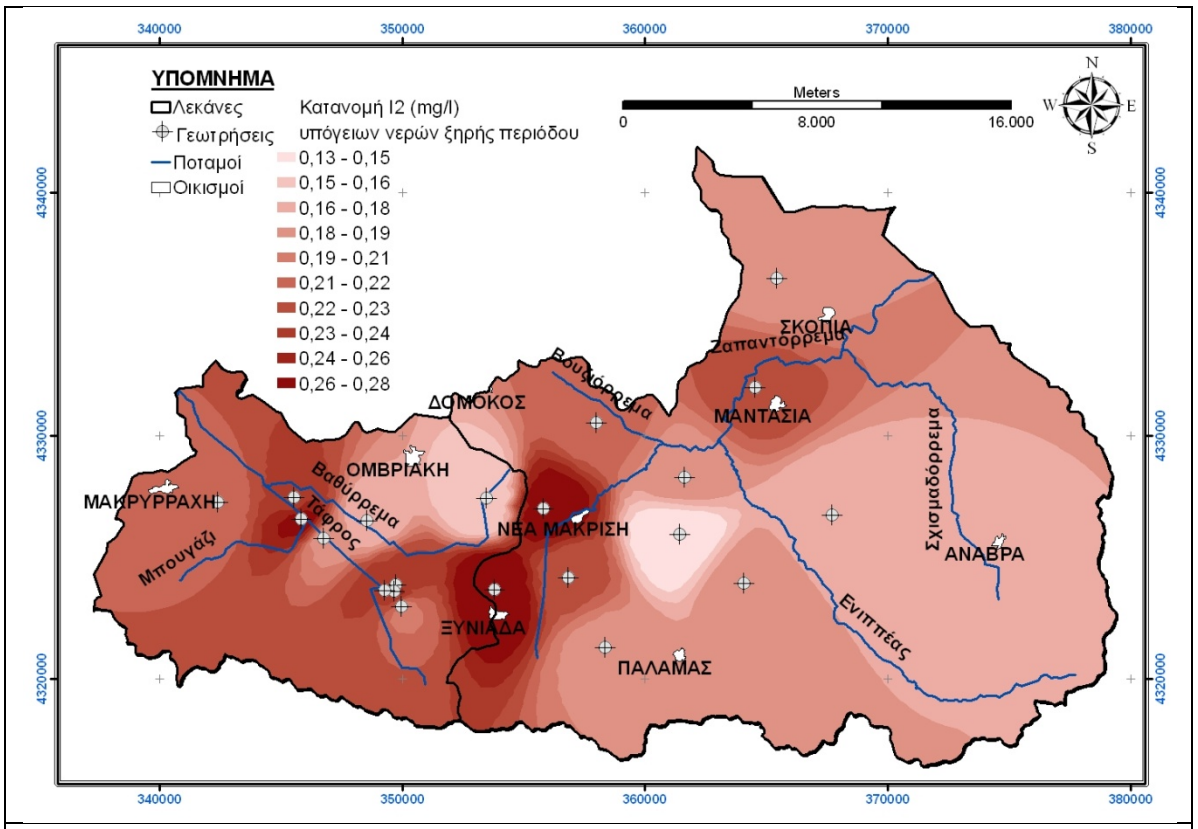
$$Ca_5 (PO_4)_3F + H_2O \leftrightarrow Ca_5 (PO_4)_3OH + F^- + H^+$$

Λιπάσματα που περιέχουν φθόριο καθώς και εντομοκτόνα δημιουργούν συγκεντρώσεις του στοιχείου αυτού της τάξης των 100-300 ppm με αυξανόμενη συγκέντρωση προς τα βαθύτερα στρώματα καθώς το φθόριο είναι στοιχείο πολύ διαλυτό και ευκίνητο. Όταν δεν γίνονται επεμβάσεις με K ή Ca ώστε να σχηματιστούν αδιάλυτες ενώσεις υπάρχει κίνδυνος διαφυγής μεγάλων ποσοτήτων φθορίου στα νερά απορροής (*Μπάκος* 2009). Η ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. για το F είναι 1,5 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998), ενώ συγκεντρώσεις F στο νερό μεγαλύτερες από 5 mg/l το καθιστούν ακατάλληλο προς πόση.

Το φθόριο είναι βασικό στοιχείο για τον άνθρωπο γιατί σε μικρά ποσά μέχρι και 1mg/l εμποδίζει την δημιουργία τερηδόνας στα δόντια. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προκαλεί την φθορίαση (μαύρες κηλίδες στην αδαμαντίνη των δοντιών) ή και βλάβες στα οστά. Τέτοια προβλήματα απαντώνται σε μεγάλο τμήμα πληθυσμού σε αφρικανικές χώρες, όπως η Κένυα και η Αιθιοπία, όπου οι πηγές F από ηφαιστειογενή πετρώματα είναι πολύ σημαντικές *(Appelo and Postma* 2005). Σε νερά που δεν περιέχουν φθόριο γίνεται φθορίωση με προσθήκη φθοριούχου νατρίου ή υδροφθοροπυριτικού οξέος για τη ρύθμιση της περιεκτικότητας φθορίου και την προστασία κατά της τερηδόνας. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να ελέγχεται συχνά η περιεκτικότητα του νερού σε φθόριο, ώστε να μην υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο (*Παππά* 2001, http://postgra.hydro.ntua.gr). Οι συνήθεις διαδικασίες επεξεργασίας νερού αφαιρούν ένα μικρό ποσοστό (10% - 20%) των φθοριόντων, οπότε το φθόριο στον καταναλωτή είναι περίπου το ίδιο με αυτό στο ανεπεξέργαστο νερό. Όλες οι τροφές περιέχουν ίχνη φθορίου, ορισμένες όμως, όπως το ψάρι, μερικά λαχανικά και το τσάι, περιέχουν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις (http://www.deyap.gr).



Σχήμα 9.52. Χωρική κατανομή των ιόντων ιωδίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.53. Χωρική κατανομή των ιόντων ιωδίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Η διακύμανση του F^- στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,00 έως 0,49 mg/l με μέση

τιμή 0,17 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,00 mg/l έως 0,43 mg/l με μέση τιμή 0,16 mg/l.

- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,22 έως 0,47 mg/l με μέση τιμή 0,35 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των F^- είναι 0,14 και 0,71 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,38 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,18 mg/l έως 0,38 mg/l με μέση τιμή 0,27 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα φθοριούχα ιόντα κυμαίνονται από 0,00 έως 0,50 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,30 mg/l, ενώ η τιμή των F^- στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου είναι 0,00 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των F^- έχουν διακύμανση από 0,00 έως 0,43 mg/l με μέση τιμή 0,20 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,03 έως 0,10 mg/l με μέση τιμή 0,06 mg/l.

Οι τιμές των ιόντων φθορίου στα δείγματα υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για το σύνολο των δειγμάτων είναι 0,00 και 0,71 mg/l αντίστοιχα. Κανένα από τα δείγματα δεν ξεπέρασε την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση των 1,5 mg/l στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. Η προέλευση των F^- στα υπόγεια νερά αποδίδεται σε γεωγενείς παράγοντες και στην παρουσία του στα ηφαιστειογενή πετρώματα λόγω της μετατροπής του φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη, χωρίς να αποκλείεται και η ανθρωπογενής παρέμβαση (*Charizopoulos et al*. 2013b).

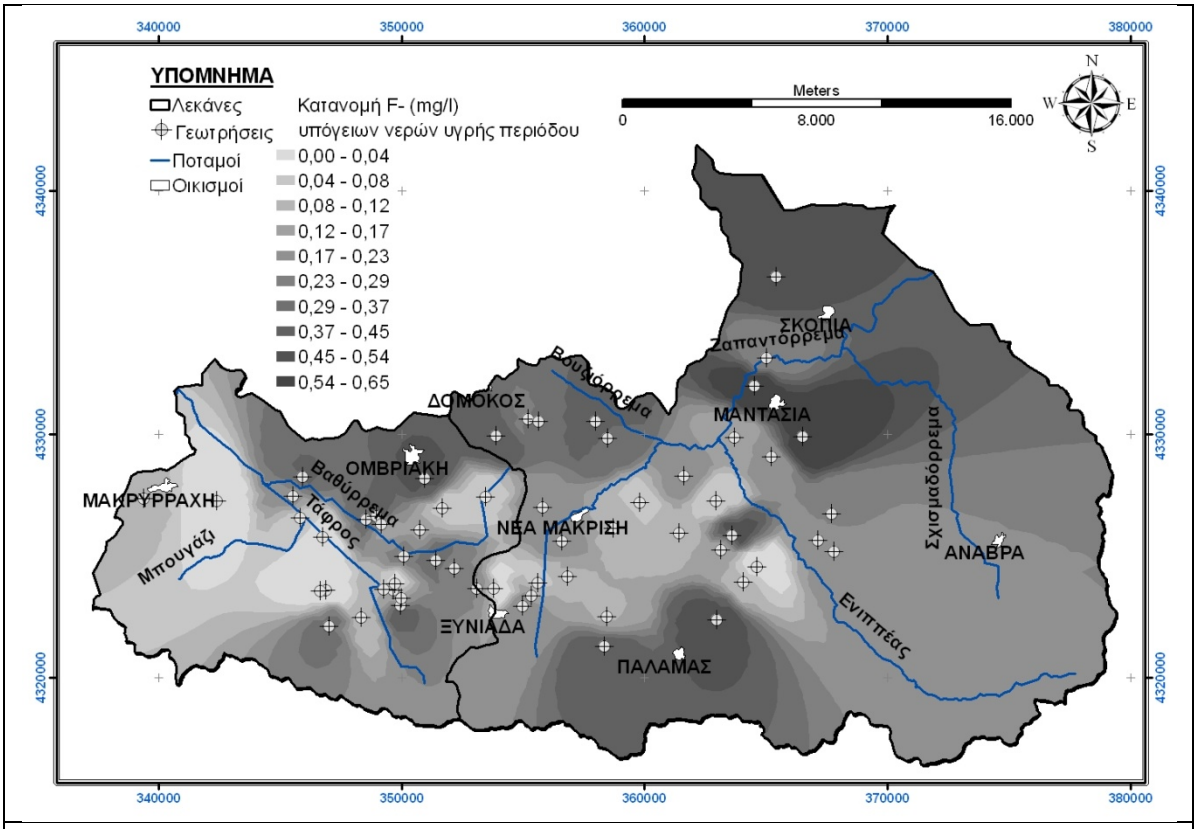
Η χωρική κατανομή των ιόντων παρουσιάζεται στα σχήματα 9.54 και 9.55 από τα οποία διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται κυρίως στα βόρεια τμήματα του οροπεδίου και έχουν σχέση με την παρουσία του στα ηφαιστειογενή πετρώματα. Επιπλέον, υψηλές τιμές εντοπίζονται στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας οι οποίες πιθανά είναι ανθρωπογενούς προέλευσης και προέρχονται από τη χρήση λιπασμάτων και αγροχημικών.

9.3.2.13 Διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2)

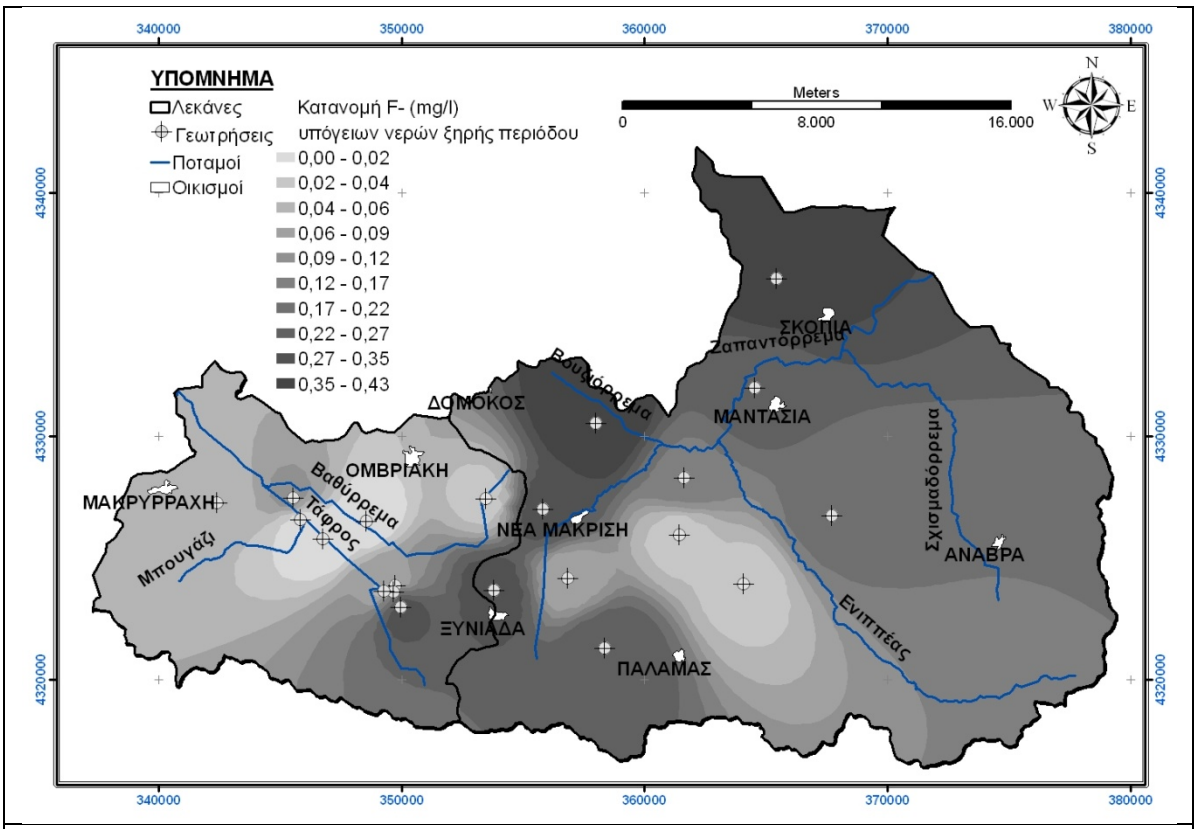
Κύριες πηγές ύπαρξης του πυριτίου στα νερά είναι τα πυριτικά ορυκτά όπως ο μοσχοβίτης ($KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$), το επίδοτο, ο ανορθίτης, ο αλβίτης ($NaAlSi_3O_8$). Επιπλέον το ορθόκλαστο ($KAlSi_3O_8$), το ολιγόκλαστο, ο χαλαζίας και ο ολιβίνης $(Mg,Fe)_2SiO_4$. Το πυρίτιο είναι το όγδοο (8^o) κατά σειρά αφθονίας μάζας στοιχείο στο σύμπαν και δεύτερο στο φλοιό της Γής, αποτελώντας συγκεκριμένα το 25,7% της μάζας του. Σπάνια όμως βρίσκεται σε ελεύθερη στοιχειακή κατάσταση. Η πιο συνηθισμένη μορφή του στη διαστρική σκόνη, σε αστεροειδείς, δορυφόρους και πλανήτες είναι το SiO_2 και διάφορες πυριτικές ενώσεις (*http://el.wikipedia.org*). Οι ενδεικτικές συγκεντρώσεις του Si στα διάφορα πετρώματα είναι: στους ψαμμίτες 359.000 mg/kg, στα μαγματικά πετρώματα 285.000 mg/kg, στους αργίλους 260.000 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 33.900 mg/kg, και στους εβαπορίτες 386 mg/kg (*Matthess* 1982). Το pH του νερού του υπεδάφους είναι σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης με αποτέλεσμα το όξινο περιβάλλον να ευνοεί τη συγκέντρωση του διοξειδίου του πυριτίου (*Βουδούρης* 2009), ενώ σε pH μεταξύ 6 και 8,5 το SiO_2 είναι αδιάλυτο (*Καλλέργης* 2000).

Το πυρίτιο σε συνδυασμό με το ασβέστιο και το μαγνήσιο δημιουργεί κρούστα στους λέβητες και τους ατμοστρόβιλους που επιβραδύνει το βρασμό. Γενικά, στα φυσικά υπόγεια νερά απαντάται σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 30 mg/l και σπάνια μέχρι 100 mg/l (*Καλλέργης* 2000). Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις του σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0,02-1 mmol/l (4,48-56 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005).

Οι *Stanley and DeWiest* (1966) αναφέρουν παρόμοιες συγκεντρώσεις θεωρώντας ότι η φυσιολογική συγκέντρωση του διοξειδίου του πυριτίου κυμαίνεται από 5 mg/l έως 40 mg/l, γεγονός που αντανακλά τη χαμηλή διαλυτότητα των πυριτικών πετρωμάτων. Επιπλέον, νερά με συγκεντρώσεις από 90 έως 110 mg/l SiO_2 θεωρούνται ότι είναι κορεσμένα με άμορφο διοξείδιο του πυριτίου και προέρχονται από ηφαιστειακά και γρανιτικά πετρώματα.



Σχήμα 9.54. Χωρική κατανομή των ιόντων φθορίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.55. Χωρική κατανομή των ιόντων φθορίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Το πυρίτιο και οι ενώσεις του είναι κύριο συστατικό των περισσότερων ημιαγωγικών συστημάτων και των μικροτσίπ, καθώς, οι ημιαγωγικές ιδιότητες του παραμένουν σε

υψηλότερες θερμοκρασίες και σχηματίζει καλύτερο ζεύγος ημιαγωγών - διηλεκτρικών, σε σχέση με κάθε άλλο γνωστό υλικό. Επιπλέον, στη μορφή του χαλαζία και διαφόρων πυριτικών ενώσεων σχηματίζει χρήσιμα υαλικά τσιμέντα και κεραμεικά προϊόντα (*http://el.wikipedia.org*). Μεγάλο ποσοστό του πυριτίου που βρίσκεται στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνδετικούς ιστούς της αορτής, της τραχείας, των τενόντων, στα οστά και το δέρμα. Η ανεπάρκεια πυριτίου μπορεί να προκαλέσει μικρές, κακώς διαμορφωμένες αρθρώσεις κι ατελή ανάπτυξη των οστών (*www.tjclarkinc.com/minerals*), ενώ το οξείδιο του πυριτίου είναι τοξικό όταν ακολουθεί την αναπνευστική οδό, γνωστή ως πυριτίωση (*Βουδούρης* 2009).

Στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας το SiO_2 προσδιορίστηκε μόνο για την ξηρή περίοδο και κυμαίνεται:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις από 23,5 έως 49,0 mg/l με μέση τιμή 35,2 mg/l.
- Στο φλύσχη η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του SiO_2 είναι 18,5 και 27,3 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 22,4 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του SiO_2 είναι 15,0 mg/l.
- Στους οφιόλιθους οι τιμές του SiO_2 κυμάνθηκαν από 35,0 έως 54,5 mg/l με μέση τιμή 42,8 mg/l.

Η παρουσία του SiO_2 είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης και συνδέεται με τη διάλυση των αργιλικών, ανθρακικών και οφιολιθικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας. Η χωρική κατανομή των SiO_2 παρουσιάζεται στο σχήμα 9.56. Διαπιστώνεται η αύξηση των τιμών στο κέντρο του οροπεδίου, στο σημείο ένωσης των δύο λεκανών και σχετίζεται με την διάλυση των σχηματισμών που προαναφέρθηκαν.

9.3.2.14 Θερμομεταλλικά νερά

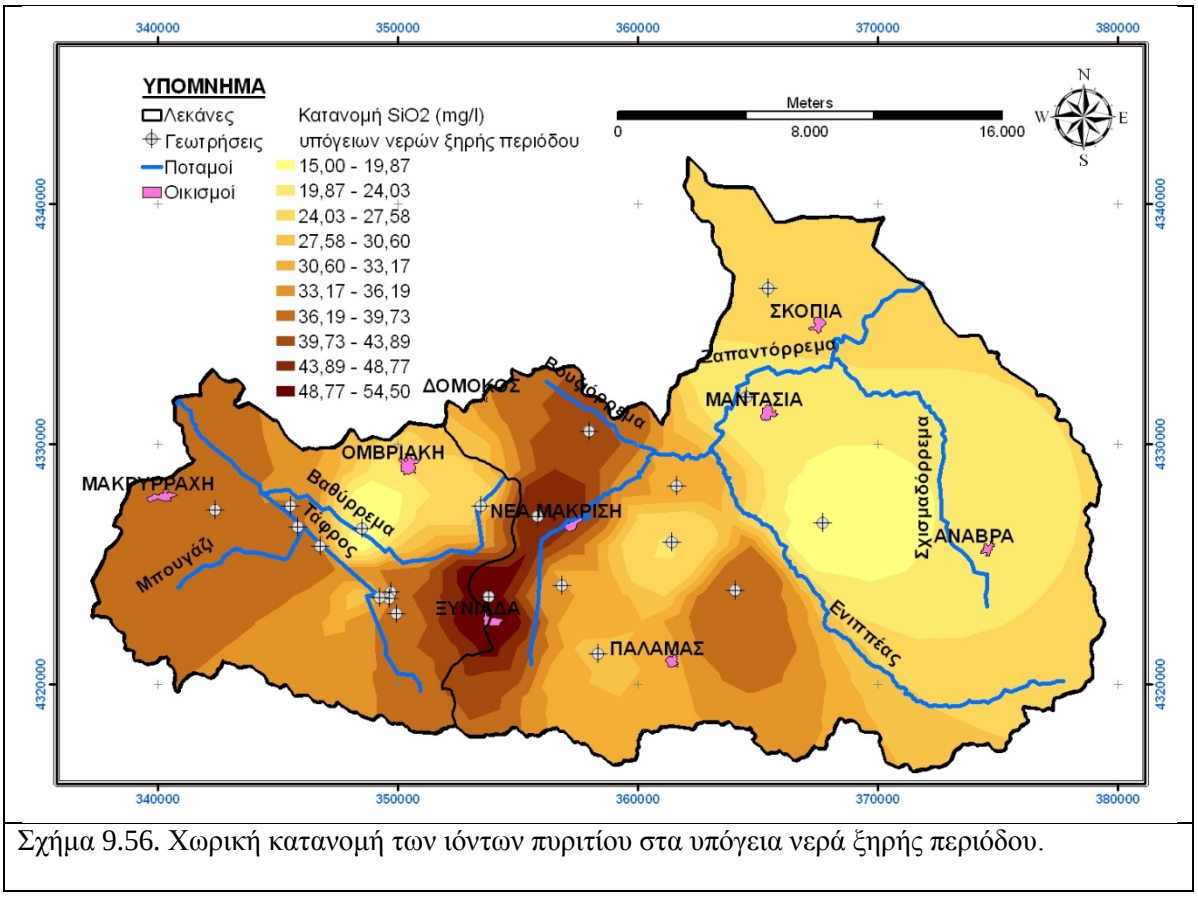
Εκτός της περιοχής έρευνας και κοντά στα δυτικά περιθώρια της υπάρχει ένας αριθμός θερμομεταλλικών πηγών με ιδιαίτερα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά νερού, κάποιες από τις οποίες είναι αξιοποιημένες και γνωστές για την ιαματική τους δράση. Αυτές είναι του Αρχανίου στα ΝΔ, Μακρυράχης-Καϊτσας ΒΔ και Εκκάρας ΒΒΔ της λεκάνης του οροπεδίου (Σχήμα 9.57).

Η θερμή πηγή Αρχανίου παροχής 5 m^3/h, θερμοκρασίας 28 ^0C και συνόλου διαλυμένων αλάτων 190 mg/l, κατατάσσεται στις υδροξυλο-ασβεστούχες ισχυρώς αλκαλικές, παρουσιάζοντας εξαιρετική ιδιαιτερότητα ως προς το pH (11,4-11,7) και υποδηλώνοντας την προέλευση του από το οφιολιθικό σύμπλεγμα. Η περιεκτικότητα σε τρίτιο των θερμών νερών υποδεικνύει ότι τα νερά Αρχανίου είναι παλαιότερα των 20 ετών. Πηγές τέτοιου είδους έχουν βρεθεί δύο στην Καλιφόρνια, μια στο Όρεγκον, και μια στο Kulasi της Βοσνίας (*Παπαδέας* 1996, *http://arhanion.blogspot.gr*). Τα θερμομεταλλικά νερά Καΐτσας-Δρανίστας στην περιοχή της Μακρυράχης χαρακτηρίζονται ως θειούχα αλκαλικά, με θερμοκρασία 20,8 ^0C, pH 7,2 και μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα 620-680 μS/cm, που πιθανά οφείλεται στο ότι η κύρια υπόγεια διαδρομή γίνεται στους δυσδιάλυτους οφιόλιθους. Η παροχή του νερού μετρήθηκε από 5,5 m^3/h έως 11 m^3/h και το ολικό σταθερό υπόλειμμα σε 553 mg/l υποδηλώνοντας σταθερή υπόγεια διαδρομή του νερού. Τα νερά είναι αξιοποιήσιμα προσελκύοντας επισκέπτες ιαματικού τουρισμού (*http://makryrrachi.gr*). Τα θερμομεταλλικά νερά της Εκκάρας βρίσκονται μεταξύ των οικισμών Εκκάρας και Άνω Αγόριανης. Στο σημείο αυτό αναβλύζουν σε τέσσερα σημεία υδροθειούχες πηγές, το νερό των οποίων αξιοποιούν οι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής για υδροθεραπεία. Το νερό είναι θερμοκρασίας 28-29 °C και χαρακτηρίζεται υπόθερμο Ca-OH-Na-Cl-Br ολιγομεταλλικό υποτονικό (*http://www.thermalsprings.gr*).

Με βάση τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων της παρούσας διατριβής θεωρείται βέβαιο, ότι ορισμένες βαθιές γεωτρήσεις (Γ7:180 m, Γ10:175 m, Γ20:105 m, Γ21:130 m, Γ22:141 m) οι οποίες εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης Ξυνιάδας,

εκμεταλλεύονται βαθείς υδροφόρους που επηρεάζονται από θερμά κυκλοφορούντα νερά. Σε αυτό συνηγορούν οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, ο αλκαλικός χαρακτήρας και η χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων των υπόγειων νερών.

Η διακύμανση της θερμοκρασίας και του pH δεν παρουσιάζει διαφορά ανάμεσα στις δύο περιόδους και κυμαίνεται στο σύνολό της από 19,8 έως 23,3 ^{0}C και από 7,2 έως 8,1 αντίστοιχα. Η διακύμανση των TDS είναι από 335 έως 1.428,5 mg/l παρουσιάζοντας πρότυπο μικρής διακύμανσης. Εξαίρεση αποτελεί μόνο η τιμή των 1.428,5 mg/l που εμφανίζεται στη γεώτρηση Γ22. Τα θερμά αυτά νερά ταξινομούνται, ανάλογα με τη θερμοκρασία τους κατά Thurner στα ελαφρά θερμά (20-25 ^{0}C). Πρόκειται πιθανά για μετεωρικά νερά που κατεισδύουν και φιλοξενούνται σε πετρώματα του οφιολιθικού υποστρώματος, αποκτώντας τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά (Σχήμα 9.57).



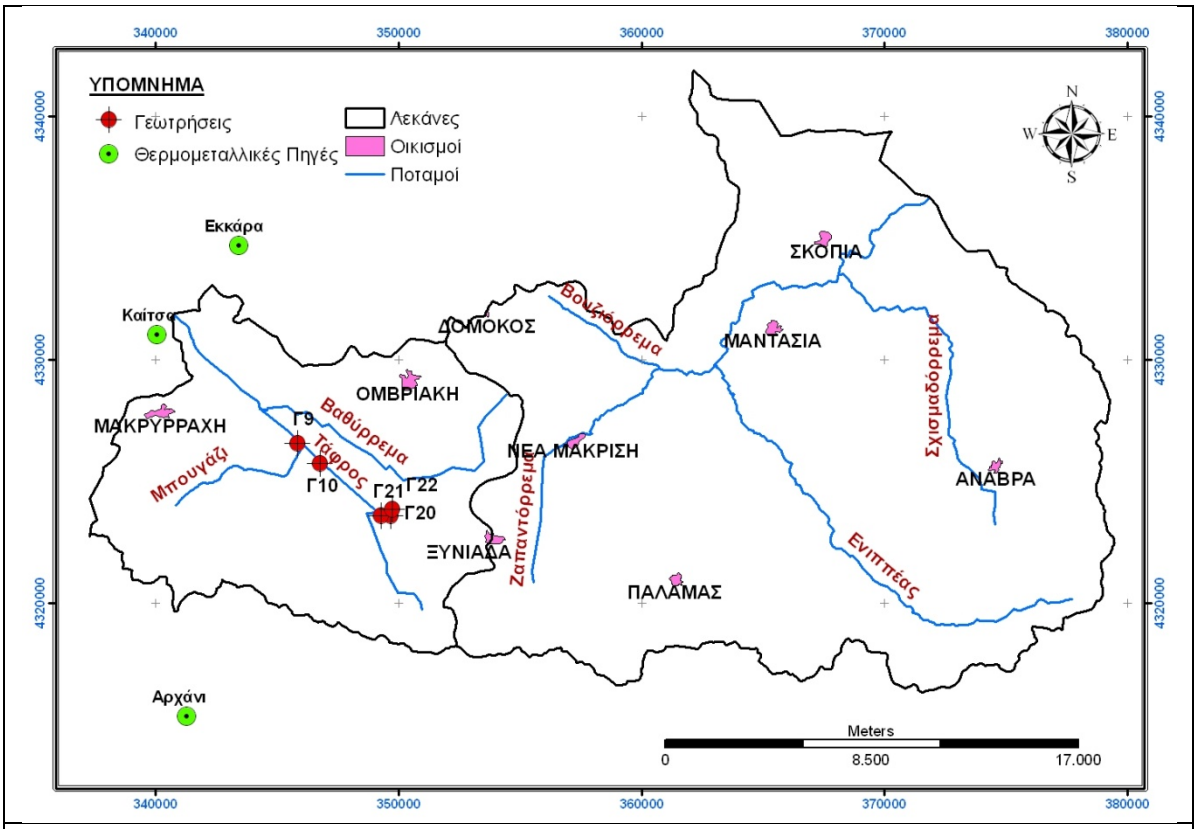
Σχήμα 9.56. Χωρική κατανομή των ιόντων πυριτίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Η περιοχή έρευνας παρουσιάζει, από πλευράς γεωλογικής δομής, ποικιλία λιθολογικών τύπων και έντονη τεκτονική καταπόνηση, η οποία αντικατοπτρίζεται με την ύπαρξη πολλών ρηξιγενών δομών. Μέσω αυτών συντελείται η κυκλοφορία των μετεωρικών νερών σε βαθύτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες, προφανώς και σε περιβάλλοντα υψηλότερων θερμοκρασιών, όπου τελικά φιλοξενούνται τα υπόγεια θερμά ρευστά (*Fytikas and Kolios* 1979). Στο οροπέδιο Δομοκού απουσιάζουν επιφανειακές εκδηλώσεις θερμών ρευστών. Σε αντίθεση στην κείμενη νοτιότερα λεκάνη του Σπερχειού εμφανίζεται μεγάλος αριθμός θερμών πηγών και περιοχές έντονης θερμικής ανωμαλίας (*Σφέτσος* 1988, *Παπαδέας* 1996, *Gartzos and Stamatis* 1996), όπως και στη βορειότερα κείμενη θεσσαλική λεκάνη όπου εντοπίζονται θερμές πηγές και θερμά νερά σε βαθιές γεωτρήσεις (*Stamatis et al*. 2007, *Lambrakis et al*. 2012).

9.3.3 Βαρέα μέταλλα

9.3.3.1 Σίδηρος ολικός (Fe^{2+} και Fe^{3+})

Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο στοιχείο στο στερεό φλοιό της γης και το έκτο αφθονότερο στοιχείο στο σύμπαν. Ο καθαρός σίδηρος είναι ένα μέταλλο αλλά βρίσκεται σπάνια με αυτήν την μορφή στην επιφάνεια της γης επειδή οξειδώνεται εύκολα με την παρουσία οξυγόνου και υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Βρίσκεται κυρίως στα σκουρόχρωμα ορυκτά, όπως στους πυρόξενους, αμφιβόλους, βιοτίτη, μαγνητίτη, σιδηροπυρίτη, στους γρανάτες και στις ολιβίνες (http://el.wikipedia.org). Οι συγκεντρώσεις του σιδήρου στα διάφορα πετρώματα ανέρχονται: στα μαγματικά 42.200 mg/kg, στους αργίλους στα 38.800 mg/kg, στους ψαμμίτες 18.600 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 8.190 mg/kg και στους εβαπορίτες 265 mg/kg (*Matthess* 1982).



Σχήμα 9.57. Οι γεωτρήσεις με τους θερμούς υδροφόρους και οι γειτονικές προς την περιοχή έρευνας θερμομεταλλικές πηγές.

Στα νερά ο σίδηρος συναντάται με τη δισθενή και την τρισθενή μορφή του. Προέρχεται από μαγματικά πετρώματα, οξείδια (αιματίτης, λειμονίτης, μαγνητίτης), σουλφίδια (σιδηροπυρίτης-FeS_2), ανθρακικά ορυκτά (σιδηρίτης-$FeCO_3$). Μερικά υπόγεια νερά περιέχουν ιόντα δισθενούς σιδήρου λόγω έλλειψης οξυγόνου. Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν οι δισθενείς ενώσεις του σιδήρου οξειδώνονται προς τρισθενείς και κατακρημνίζονται, προσδίδοντας καφέ-κόκκινο χρώμα. Επιπλέον, στα επιφανειακά νερά ο σίδηρος βρίσκεται στην τρισθενή μορφή του (*Βουδούρης* 2009). Ο σίδηρος είναι πιο ευδιάλυτος σε όξινα νερά με pH μικρότερο του 4. Η ενδεικτική τιμή του για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 0,05 mg/l και το ανώτατο επιτρεπτό όριο είναι 0,2 mg/l. Αν ξεπεραστεί το όριο αυτό τα νερά γίνονται ακατάλληλα όχι μόνο για πόση αλλά και για τις περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις (*Καλλέργης* 2000). Οι φυσιολογικές συγκεντρώσεις των Fe^{2+} σε φυσικά νερά χωρίς ρυπαντικό φορτίο είναι 0-0,5 mmol/l (0,0-28,0 mg/l) (*Appelo and Postma* 2005).

Ο σίδηρος είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό καθώς συμβάλλει στη μεταφορά οξυγόνου και συμμετέχει στη δημιουργία πρωτεϊνών που μεταφέρουν

οξυγόνο, όπως είναι η αιμογλοβίνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων και η μυογλοβίνη στους μύες. Είναι επίσης απαραίτητο συστατικό διαφόρων ενζύμων. Ο Σίδηρος συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα όργανα του σώματος όπως στο μυελό των οστών, το ήπαρ και τη σπλήνα και περίπου 15% της συγκέντρωσης του αποθηκεύεται από τον οργανισμό για μελλοντική χρήση. Η έλλειψή σιδήρου προκαλεί αναιμία ενώ σε μεγάλες περιεκτικότητες προξενεί βλάβη στους ιστούς, λόγω της συσσώρευσής του (*www.tjclarkinc.com/minerals*). Η υψηλή εμφάνιση λευχαιμίας σε μερικές περιοχές της Πολωνίας έχει συνδεθεί με έδαφος που έχει ανεπάρκεια σε σίδηρο. Ο καρκινογόνος παράγοντας αποδείχθηκε ότι είναι οι παραγόμενες τοξίνες από τον μικροοργανισμό *Aspergillus flavus,* ενός μύκητα που αναπτύσσεται σε έδαφος αυτής της χημικής σύστασης. Η λίπανση του εδάφους με ορισμένα ιχνοστοιχεία και κυρίως του ορυκτού δολομίτη έλεγξε το μύκητα και μειώθηκε η συχνότητα της λευχαιμίας (*Σταμάτης* 2009b).

Στην περιοχή έρευνας η διακύμανση του ολικού σιδήρου (Fe^{2+} και Fe^{3+}) στα υπόγεια νερά είναι:

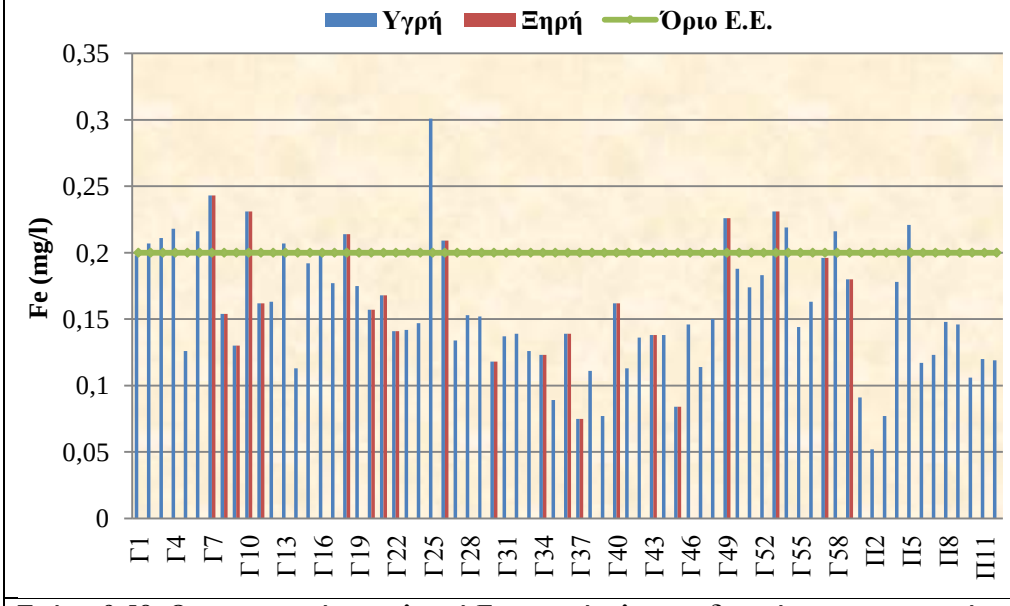
- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,075 έως 0,301 mg/l με μέση τιμή 0,149 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,066 mg/l έως 0,193 mg/l με μέση τιμή 0,114 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,052 έως 0,188 mg/l με μέση τιμή 0,120 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των Fe^{2+} και Fe^{3+} είναι 0,106 και 0,231 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,169 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,059 mg/l έως 0,134 mg/l με μέση τιμή 0,106 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο τα Fe^{2+} και Fe^{3+} κυμαίνονται από 0,091 έως 0,218 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,152 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του ολικού σιδήρου είναι 0,097 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές των Fe^{2+} και Fe^{3+} κυμαίνονται από 0,077 έως 0,243 mg/l με μέση τιμή 0,178 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,111 έως 0,129 mg/l με μέση τιμή 0,118 mg/l.

Οι τιμές του ολικού σιδήρου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από 0,052 έως 0,301 mg/l. Ποσοστό 24% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από 0,2 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. (Σχήμα 9.58). Η παρουσία του Fe^{2+} και Fe^{3+} οφείλεται σε γεωγενείς παράγοντες, χωρίς να αποκλείονται και περιπτώσεις στις οποίες οι τιμές του ολικού σιδήρου οφείλονται στις σωληνώσεις υδροληψίας των υδρογεωτρήσεων, ειδικά κατά την υγρή περίοδο. Εξάλλου με τις αντλήσεις επιτυγχάνεται καθαρισμός των σωληνώσεων και αυτός είναι πιθανά ο λόγος της πτώσης των τιμών που παρατηρείται από την υγρή στη ξηρή περίοδο (Σχήμα 9.59).

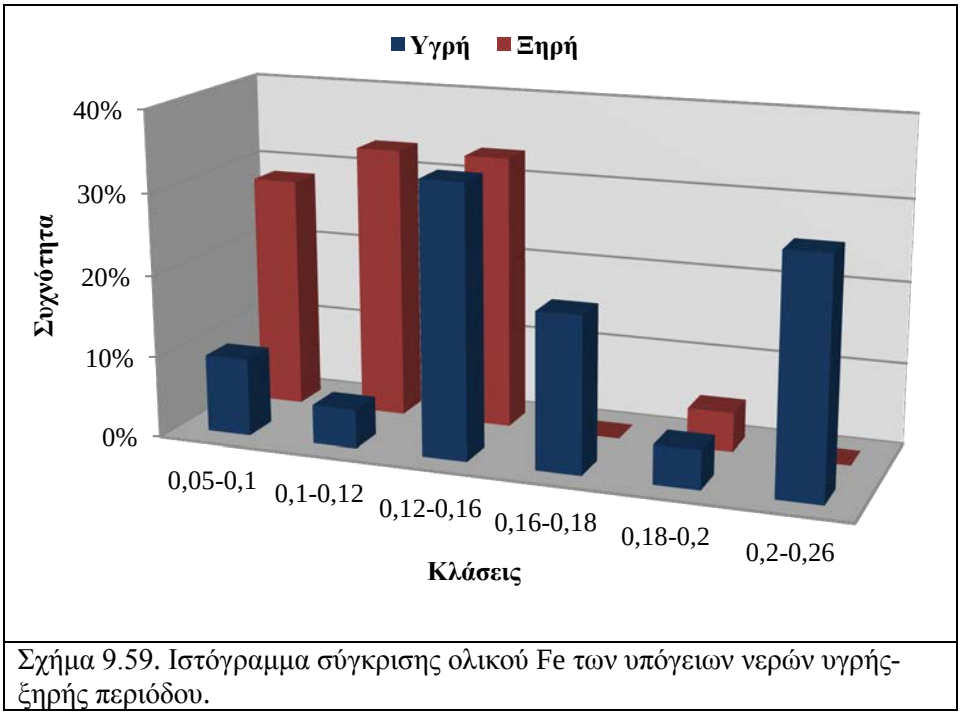
Η χωρική κατανομή του Fe παρουσιάζεται στα σχήματα 9.60 και 9.61. Την υγρή περίοδο οι υψηλές τιμές εντοπίζονται στα βόρεια, δυτικά και ανατολικά της περιοχής έρευνας και την ξηρή περίοδο στην πλούσια σε οργανικά περιοχή της πρώην λίμνης και σημειακά στη λεκάνη Σκοπιάς. Οι τιμές αυτές των Fe^{2+} και Fe^{3}+ σχετίζονται με την ύπαρξη του σιδήρου σε όλους σχεδόν τους σχηματισμούς. Η διάβρωση των πλούσιων σε οξείδια του σιδήρου αργιλικών ιζημάτων, του κλαστικού υλικού οφιολιθικής προέλευσης και της έντονης παρουσίας της οργανικής ύλης, αποτελούν τη βασική προέλευση του στοιχείου στα υπόγεια νερά.

Η ανωτέρω υπόθεση επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των εδαφοχημικών αναλύσεων οι οποίες έδειξαν την έντονη παρουσία του σιδήρου στα εδάφη της περιοχής έρευνας και ενισχύεται ακόμη περισσότερο από τη σύγκριση της χωρικής κατανομής των μορφών εδαφικού σιδήρου με τις δύο περιόδους. Διαπιστώνεται ομοιότητα της υδατοδιαλυτής φάσης των εδαφικών δειγμάτων (Κεφ. 8^{ο}, Σχήμα 8.18α) με την υγρή περίοδο και της συνδεδεμένης με την οργανική ουσία, ανθρακικές ενώσεις και τα οξείδια Fe και Mn εδαφικής φάσης (Κεφ. 8^{ο}, Σχήμα 8.18γ) με την ξηρή περίοδο.

Οι τιμές των ιόντων Fe στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας συγκρινόμενες κινούνται σε υψηλότερα επίπεδα από εκείνα της λεκάνης του άνω ρου του Ασωπού 0,007-0,133 mg/l (*Τσαραμπάρης* 2010), Κορωπίου στην Αττική <0,001-0,184 mg/l (*Pavlopoulos et al.* 2011) και της Ανατολικής Αττικής 0,000-0,271 (*Χαμπίδη* 2012).



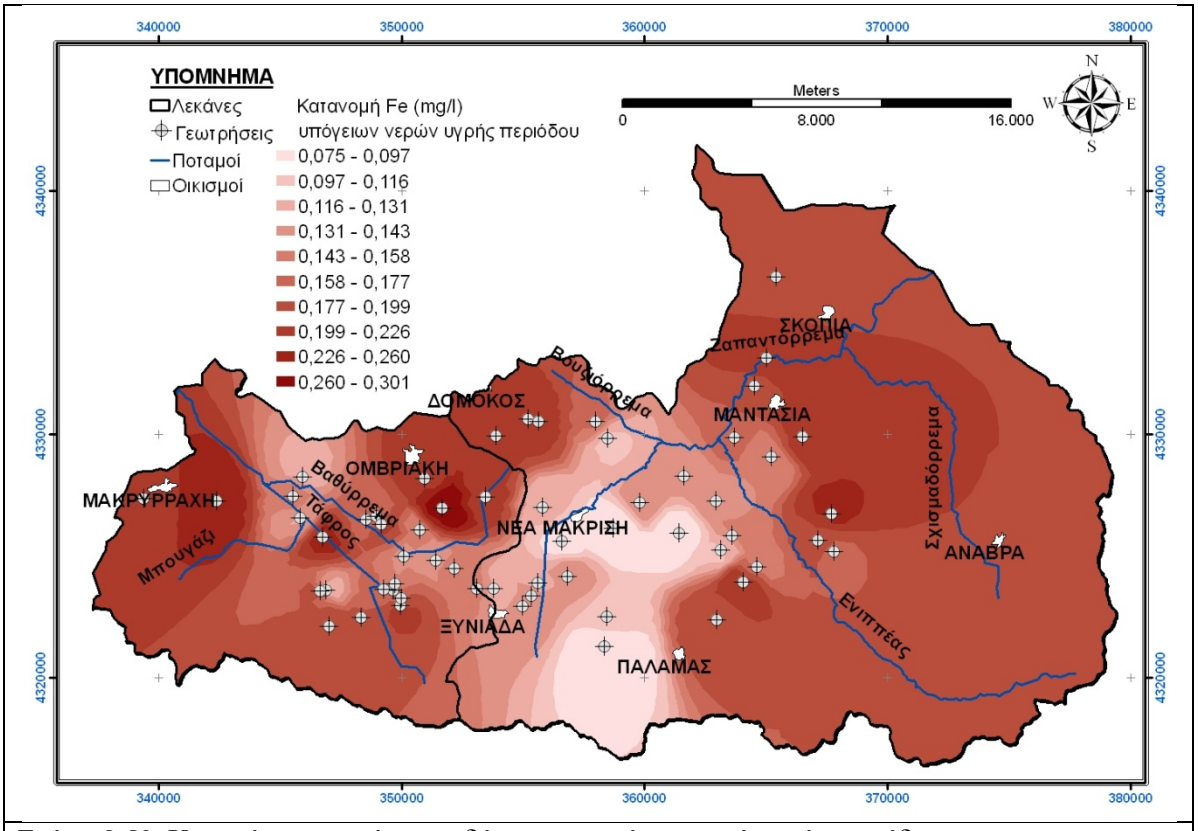
Σχήμα 9.58. Οι συγκεντρώσεις ολικού Fe στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,2 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.



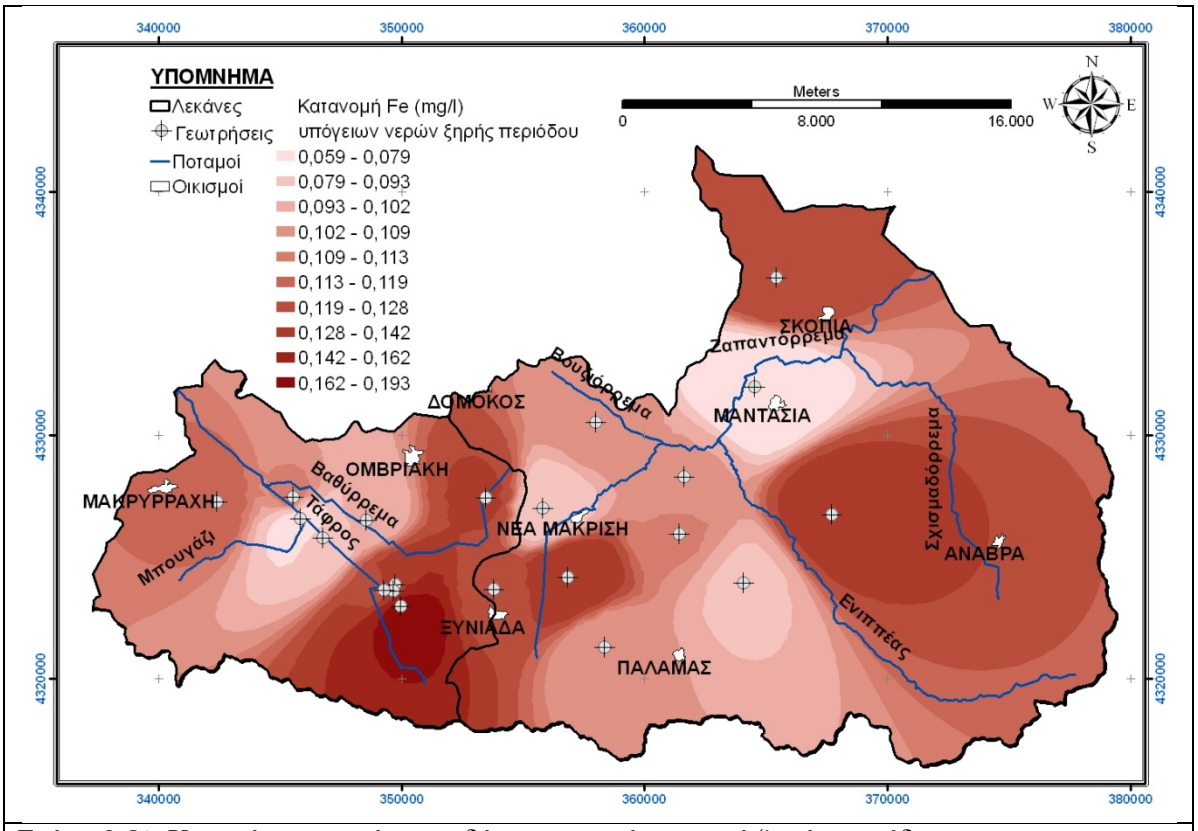
Σχήμα 9.59. Ιστόγραμμα σύγκρισης ολικού Fe των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

9.3.3.2 Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο αποτελεί περίπου το 0,1% της επιφάνειας της γης και άρα είναι το 12^{ο} πιο συνηθισμένο στοιχείο στην επιφάνειά της. Το έδαφος περιέχει 7-9.000 ppm μαγγανίου με μέσο όρο 440 ppm. Το θαλασσινό νερό περιέχει μόνο 10 ppm μαγγανίου και η ατμόσφαιρα περιέχει 0,01 μg/m^3 (http://el.wikipedia.org). Το μαγγάνιο απαντάται σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις στο στερεό φλοιό της γης: στα μαγματικά πετρώματα με 937 mg/kg, στα



Σχήμα 9.60. Χωρική κατανομή του σιδήρου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.61. Χωρική κατανομή του σιδήρου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

ιζήματα όπως στους αργίλους με 575 mg/kg, στους ψαμμίτες με 392 mg/kg, στα ανθρακικά με 842 mg/kg και στους εβαπορίτες με 4,4 mg/kg (*Matthess* 1982).

Η παρουσία του Mn συνδέεται γενικά με μεταμορφωμένα πετρώματα πλούσια σε μαρμαρυγίες, κεροστίλβη και αμφιβόλους (*Βουδούρης* 2009). Το σπουδαιότερο ορυκτό του μαγγανίου είναι ο πυρολουσίτης (MnO_2), ενώ υπάρχει μεγάλη ποικιλία άλλων ορυκτών μαγγανίου μεταξύ των οποίων από τα πλέον κοινά είναι ο αουσμανίτης (Mn_3O_4), ο ψιλομέλανας, [(Mn,Ba)O·2MnO_2], ο ροδοχρωσίτης, ($MnCO_3$) και ο μαγγανίτης [MnO(OH)]. Τεράστιες ποσότητες ορυκτών μαγγανίου (24% σε Mn ως οξείδια και υδροξείδια) βρίσκονται στον πυθμένα των ωκεανών υπό τη μορφή σφαιριδίων γνωστά ως κόνδυλοι μαγγανίου (manganese nodules) (*http://www.chem.uoa.gr*).

Στα υπόγεια φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου είναι πολύ χαμηλές συνήθως σε ίχνη <0,05 mg/l. Η διάλυση και η παρουσία του στοιχείου αυτού εξαρτάται από το pH και το Eh. Στην περίπτωση των υπόγειων νερών με υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και τιμή pH=7 το μαγγάνιο βρίσκεται στη δισθενή μορφή σε συγκεντρώσεις από 1-10 mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα θερμομεταλλικά νερά, μέχρι 42 mg/l, στα νερά κοιτασμάτων υδρογονανθράκων, μέχρι 30 mg/l (*Matthess* 1982). Η Ε.Ε. περιλαμβάνει το Mn στις ανεπιθύμητες ουσίες και καθορίζει σαν ενδεικτική τιμή του για τα πόσιμα νερά τα 20 μg/l και σαν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 50 μg/l ή 0,05 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998).

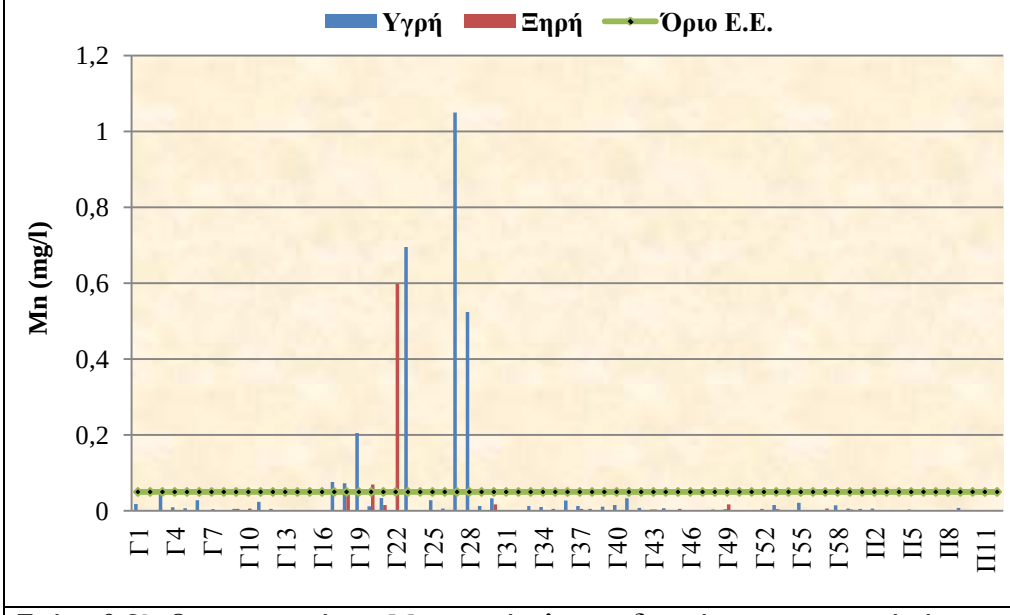
Το μαγγάνιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο που συγκεντρώνεται κυρίως στα οστά, το ήπαρ, το πάγκρεας και τον εγκέφαλο. Είναι συστατικό πολλών ενζύμων τα οποία είναι σημαντικά για τη σωστή πέψη και αξιοποίηση της τροφής καθώς λειτουργεί σαν καταλύτης. Η έλλειψη μαγγανίου μπορεί να προκαλέσει ανωμαλίες στην εγκεφαλική λειτουργία, στην ανάπτυξη των οστών και στο μεταβολισμό της χοληστερόλης. Σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε παράλυση, οστεοπόρωση, σκλήρυνση κατά πλάκας, σπασμούς, ζάλη και αταξία. Τοξικότητα έχει παρατηρηθεί από βιομηχανική έκθεση όπως η εισπνοή σκόνης μαγγανίου από ανθρακωρύχους και κατανάλωση πόσιμου μολυσμένου νερού. Τα συμπτώματα της τοξικότητας είναι η ανάπτυξη μιας μορφής σχιζοφρένειας και νευρικές διαταραχές που μοιάζουν με τη νόσο του Parkinson (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Η διακύμανση του μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχή έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από <0,001 έως 1,05 mg/l με μέση τιμή 0,085 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,001 mg/l έως 0,598 mg/l με μέση τιμή 0,056 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από <0,001 έως 0,006 mg/l με μέση τιμή 0,004 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Mn είναι <0,001 και 0,021 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,006 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,003 mg/l έως 0,006 mg/l με μέση τιμή 0,004 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Mn κυμαίνεται από <0,001 έως 0,028 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,009 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του είναι 0,002 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του Mn κυμαίνονται από <0,001 έως 0,046 mg/l με μέση τιμή 0,009 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από <0,001 έως 0,004 mg/l με μέση τιμή 0,002 mg/l.

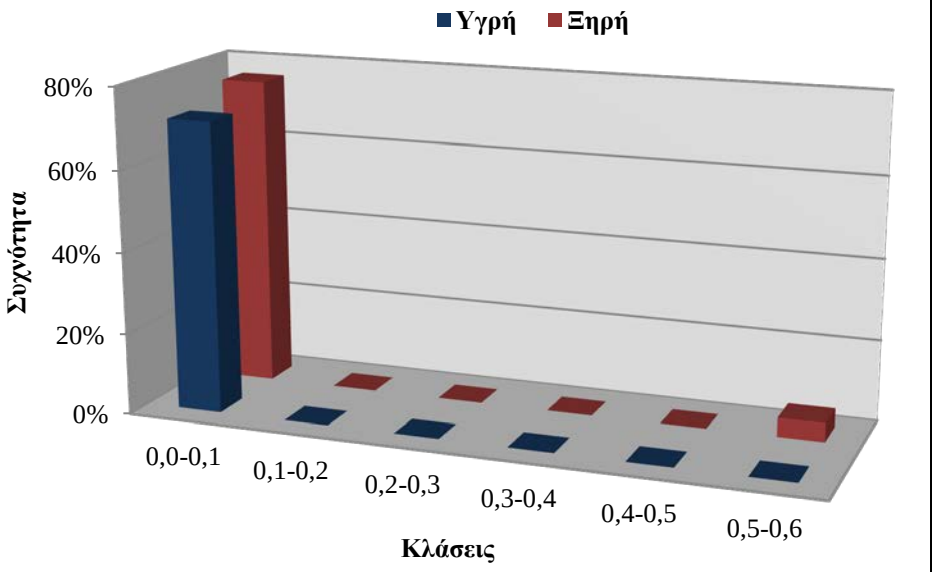
Οι τιμές του μαγγανίου κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα καθώς ποσοστό 16% των δειγμάτων έχουν τιμές μη ανιχνεύσιμες (<0,001) και μόνο 9% έχουν τιμές πάνω από 0,05 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την Ε.Ε. (Σχήμα 9.62). Οι τιμές του μαγγανίου οφείλονται σε γεωγενείς παράγοντες και σχετίζονται με τη διάλυση ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο. Οι υψηλές τιμές παρατηρήθηκαν κυρίως την υγρή περίοδο, γεγονός που συνδέεται με το μη επαρκή καθαρισμό των σωληνώσεων. Η σύγκριση των δύο περιόδων έδειξε παρόμοιες τιμές και επικρατέστερη με ποσοστό 70% την κλάση 0-0,1 mg/l (Σχήμα 9.63).

Η χωρική κατανομή του μαγγανίου παρουσιάζεται στα σχήματα 9.64 και 9.65. Οι υψηλές



Σχήμα 9.62. Οι συγκεντρώσεις Mn στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,05 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

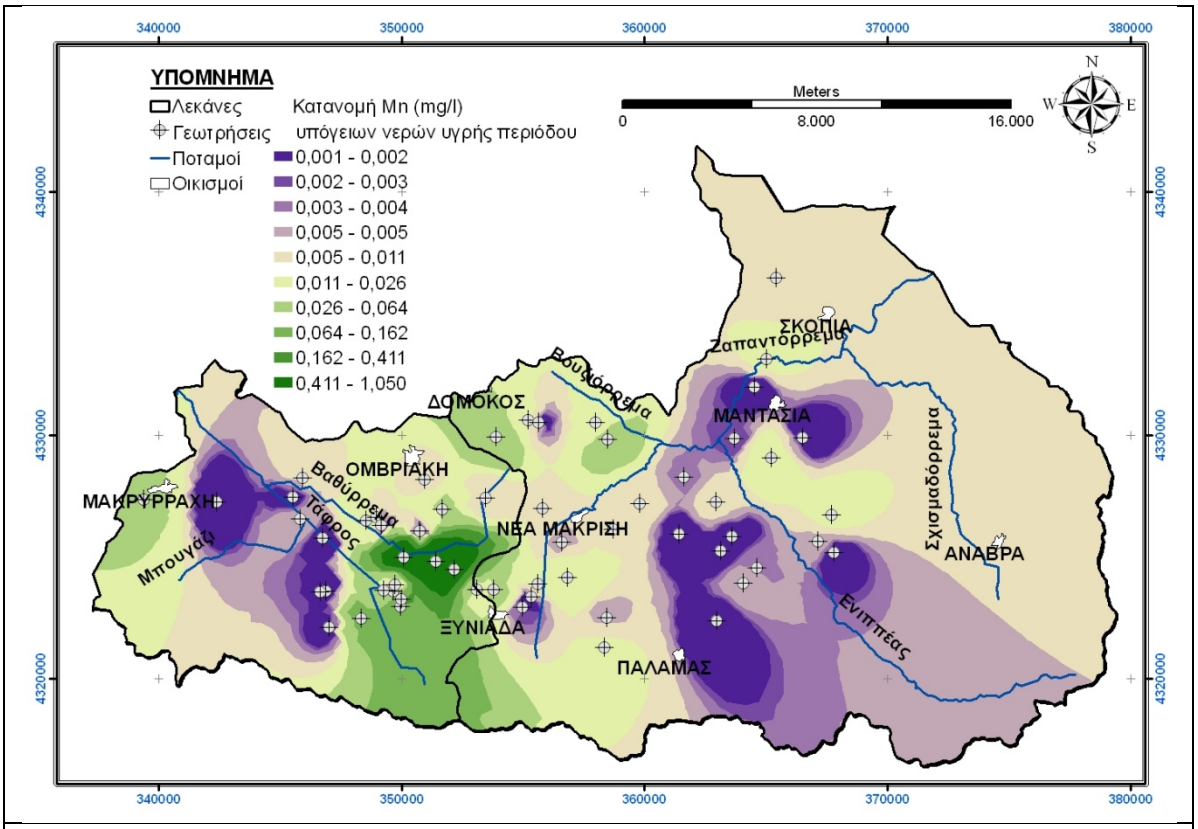
τιμές του μετάλλου εμφανίζονται στην περιοχή της πρώην λίμνης Ξυνιάδας, ενώ επιπλέον από τη σύγκριση της χωρικής κατανομής των μορφών εδαφικού Mn με τις δύο περιόδους, δεν διαπιστώνονται ομοιότητες. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ύπαρξη ιόντων Mn στα



Σχήμα 9.63. Ιστόγραμμα σύγκρισης του Mn των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

υπόγεια νερά οφείλεται στην έκπλυση στρωμάτων τύρφης και λιγνίτη (*Stamatis et al.* 2011a) που υπάρχουν στο πρώην ελώδες περιβάλλον. Επιπρόσθετα, εξαιτίας της οξείδωσης των οργανικών, δημιουργούνται τοπικά ισχυρές αναγωγικές συνθήκες που δεσμεύουν όλο ή μέρος του οξυγόνου, δημιουργώντας έτσι το κατάλληλο περιβάλλον για την παραμονή εν διαλύσει του μαγγανίου. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτής της περίπτωσης αποτελούν τα δείγματα των γεωτρήσεων Γ27 στην υγρή περίοδο και Γ22 στην ξηρή με υψηλές τιμές Mn και χαμηλές έως μηδενικές τιμές διαλυμένου οξυγόνου.

Οι τιμές Mn που βρέθηκαν στα υπόγεια νερά σε άλλες περιοχές της Ελλάδας είναι στην ευρύτερη περιοχή των Μεσογείων <0,02 mg/l (*Γιαννουλόπουλος και Γκιντώνη* 2008), στη λεκάνη του άνω ρου του Ασωπού 0,055-0,118 mg/l (*Τσαραμπάρης* 2010) και στην Ανατολική Αττική 0-0,392 mg/l (*Χαμπίδη* 2012).



Σχήμα 9.64. Χωρική κατανομή του μαγγανίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

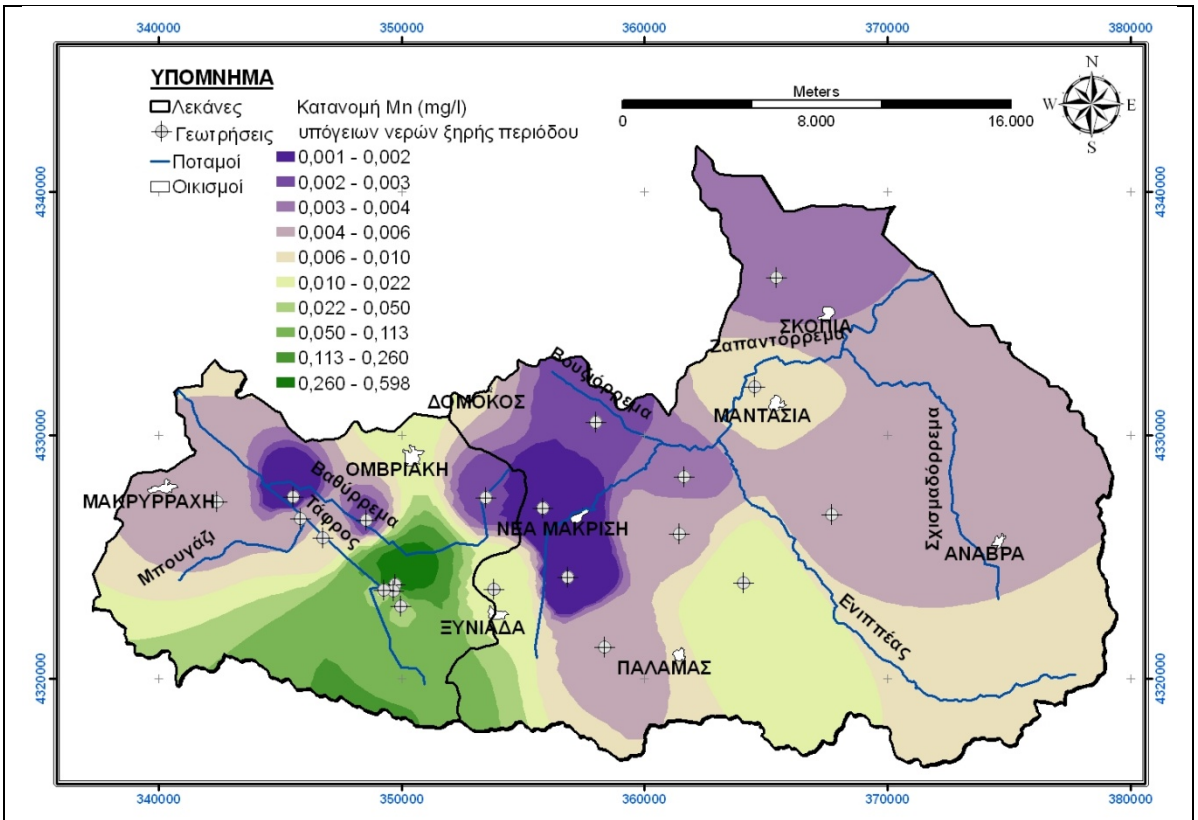
9.3.3.3 Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός απαντάται αυτοφυής στη φύση και τα κυριότερα ορυκτά του είναι ο χαλκοπυρίτης ($CuFeS_2$), ο χαλκοσίνης (Cu_2O), ο βορνίτης (Cu_5FeS_4), ο κυπρίτης (Cu_2O), ο μαλαχίτης ($Cu_2(OH)_2CO_3$) και ο αζουρίτης ($2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$) (με τα δύο τελευταία να είναι ημιπολύτιμοι λίθοι) (http://el.wikipedia.org). Ο χαλκός βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με 97,4 mg/kg, στους ψαμμίτες με 15,4 mg/kg, στους αργίλους με 44,7 mg/kg, στα ανθρακικά με 4,5 mg/kg και στους εβαπορίτες με 2,0 mg/kg (*Matthess* 1982).

Η παρουσία του χαλκού στο νερό εξαρτάται από το pH και το Eh. Στα υπόγεια φυσικά νερά η συγκέντρωση του χαλκού βρίσκεται πολύ κάτω του 1,0 mg/l. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,0009 mg/l, ενώ στα θερμομεταλλικά νερά και σε μεταλλοφόρες περιοχές παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 2,0 mg/l (*Matthess* 1982). Στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,01-0,5 mg/l με ανώτατο επιτρεπτό όριο από την Ε.Ε. τα 2,0 mg/l. Λόγω της διάβρωσης των χάλκινων σωληνώσεων σημαντικές ποσότητες χαλκού διαλύονται στο πόσιμο νερό. Αν το νερό μείνει στάσιμο 12 ώρες στις σωληνώσεις η συγκέντρωση χαλκού μπορεί να υπερβεί τα 20 m/g. Για αυτό το λόγο η υγειονομική διάταξη αναφέρει δύο ενδεικτικά επίπεδα: στην έξοδο των εγκαταστάσεων και μετά από ηρεμία 12 ωρών στις σωληνώσεις. Ο χαλκός προσδίδει χρώμα και στυπτική γεύση στο πόσιμο νερό και δημιουργεί λεκέδες στα υφάσματα και στα είδη υγιεινής (*Παππά* 2001).

Ο χαλκός είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στα ζώα όσο και στα φυτά. Βρίσκεται σε ποικιλία ενζύμων, όπως την υπεροξειδάση του κυτοχρώματος C και την υπεροξειδισμουτάση. Ορισμένα μαλάκια και αρθρόποδα έχουν ως μεταφορική ουσία των

αναπνευστικών αερίων την αιμοκυανίνη (αντί της αιμοσφαιρίνης) η οποία περιέχει χαλκό. Στα ανώτερα ζώα έχει διαπιστωθεί ότι η παρουσία χαλκού διευκολύνει την απορρόφηση σιδήρου από τον οργανισμό. Η υπερβολική απόθεση χαλκού στους ιστούς προκαλεί την Νόσο του Wilson, ενώ χρόνια έλλειψη χαλκού προκαλεί δυσλειτουργία στη σύνθεση δοπαμίνης. Αυτό έχει ως συνέπεια την εμφάνιση κατάθλιψης, δυσλειτουργίες στη σύνθεση μελανίνης από τα δερματικά κύτταρα και στον μεταβολισμό των λιπών και των τριγλυκεριδίων (*http://el.wikipedia.org*).



Σχήμα 9.65. Χωρική κατανομή του μαγγανίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Η υπερβολική λήψη Cu απ' τον άνθρωπο μπορεί να οφείλεται σε μεγάλη ποσότητα οιστρογόνων από κατανάλωση κρέατος, αντισυλληπτικά χάπια, κάπνισμα, υπερβολική ποσότητα Cu στο πόσιμο νερό, χαμηλά επίπεδα Zn και Mn. Αντίθετα, η ανεπάρκεια χαλκού προκαλεί αναιμία, υψηλά επίπεδα χοληστερίνης, τριγλυκεριδίων και γλυκόζης, μείωση του οξυγόνου των κυττάρων, δερματικά προβλήματα και πρήξιμο στα πόδια (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Οι συγκεντρώσεις χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας παρουσίασαν τιμές μη ανιχνεύσιμες (<0,001 mg/l). Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσε η γεώτρηση Γ1 με τιμή 0,024 mg/l, η οποία είναι κάτω από το όριο των 0,10 mg/l της Ε.Ε. Οι συγκεντρώσεις αυτές του στοιχείου σχετίζονται με τη μηδενική μετακίνηση του από το έδαφος εξαιτίας της έκπλυσης, καθώς είναι ένα από τα πιο δυσκίνητα βαρέα μέταλλα (*Μήτσιος* 2004). Οι συγκεντρώσεις χαλκού που ανιχνεύθηκαν σε άλλες περιοχές είναι: στον Ωρωπό <0,001-0,507 mg/l (*Ζαχαριάδης* 2006) και στη λεκάνη του άνω ρου του Ασωπού 0,001-0,023 mg/l (*Τσαραμπάρης* 2010).

9.3.3.4 Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος είναι το 24ο αφθονότερο στοιχείο της γης. Το έδαφος περιέχει 5-770 ppm ψευδάργυρου με έναν μέσο όρο 64 ppm ενώ το νερό της θάλασσας έχει μόνο 30 ppb

ψευδαργύρου και η ατμόσφαιρα περιέχει 0,1-4 μg/m^3. Ο ψευδάργυρος ενώνεται με το θείο σε εξαιρετικά αδιάλυτα σουλφίδια. Στο σφαλερίτη (ZnS) που είναι μια μορφή σουλφιδίων του ψευδάργυρου, υπάρχει Zn σε ποσοστό 60-62%. Άλλα συνήθη ορυκτά του είναι ο ζιγκίτης (ZnO) και ο σμιθωνίτης ($ZnCO_3$) (*http://el.wikipedia.org*). Ο Zn βρίσκεται σε συγκεντρώσεις στα μαγματικά πετρώματα με 198 mg/kg, στους ψαμμίτες με 120 mg/kg, στους αργίλους με 423 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 7,08 mg/kg και στους εβαπορίτες με 10,6 mg/kg (*Matthess* 1982).

Στα όξινα εδάφη ο Zn είναι ευκίνητος, ενώ τα οξείδια, τα ανθρακικά και τα θειούχα άλατα του είναι ελαφρώς διαλυτά στο νερό. Επιπλέον τα πολύ διαλυτά χλωριούχα και θειικά άλατα του στοιχείου τείνουν να υδρολύονται για να σχηματίσουν υδροξείδιο του ψευδαργύρου και ανθρακικό ψευδάργυρο. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις του μετάλλου στα φυσικά νερά. Στα υπόγεια νερά ο ψευδάργυρος κυμαίνεται από 0-0,22 mg/l. Σε πηγές μεταλλοφόρων περιοχών παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 3,4 mg/l και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 2.412 mg/l. Στο επεξεργασμένο πόσιμο νερό ο ψευδάργυρος κυμαίνεται από 0,01-1,0 mg/l. Η παρουσία υψηλότερων τιμών συνδέεται πάντοτε με τη χρήση των γαλβανισμένων σωλήνων του δικτύου ύδρευσης (*Σταμάτης* 2009b). Η Ε.Ε. χαρακτηρίζει τον ψευδάργυρο σαν ανεπιθύμητη ουσία και δίνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση του στο πόσιμο νερό τα 100 μg/l (0,10 mg/l) (*EU Council directive 98/83* 1998).

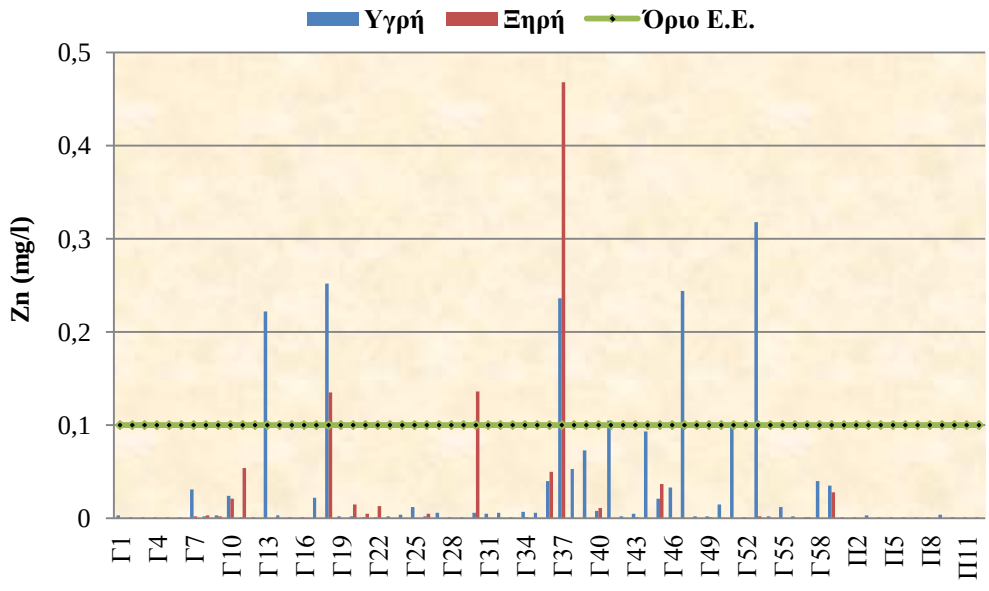
Ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο για τα φυτά όσο και για τον άνθρωπο. Έχει διαρθρωτικό, καταλυτικό (ενζυματικό) και κανονιστικό ρόλο. Περισσότερα από 60 ένζυμα χρειάζονται την παρουσία του για τη δραστηριότητά τους, συμπεριλαμβανομένων των RNA πολυμερασών. Συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου, του παγκρέατος και των επινεφριδίων αδένων, αλλά είναι παρόν σε όλα τα κύτταρα και κυρίως στον πυρήνα. Η χρόνια ανεπάρκεια ψευδαργύρου στους ανθρώπους οδηγεί σε μειωμένη ανάπτυξη (νανισμό) και μειωμένη σεξουαλική ανάπτυξη, η οποία είναι αναστρέψιμη με την αύξηση-πρόσληψη ψευδαργύρου. Προκαλεί επίσης έμφραγμα του μυοκαρδίου και αλλεργίες κατά την παιδική ηλικία. Αντίθετα, η υπερεπάρκεια Zn θεωρείται τοξική και προκαλεί γαστρικά προβλήματα, ναυτία, ζαλάδες και τάσεις για εμετό (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Η διακύμανση του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της περιοχή έρευνας είναι:

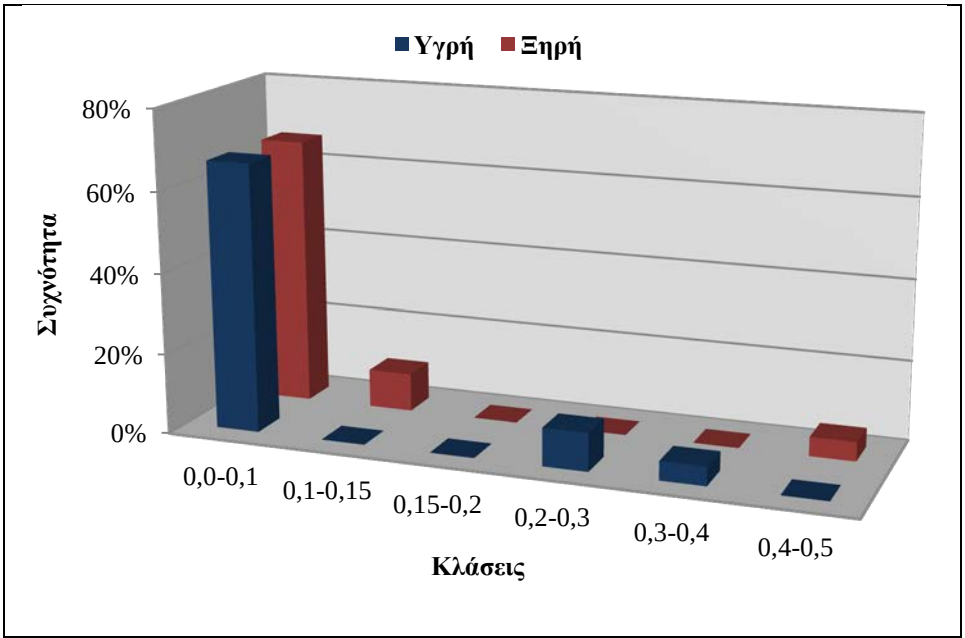
- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από <0,001 έως 0,252 mg/l με μέση τιμή 0,041 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,001 mg/l έως 0,468 mg/l με μέση τιμή 0,064 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από <0,001 έως 0,015 mg/l με μέση τιμή 0,008 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Zn είναι <0,001 και 0,318 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,040 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,001 mg/l έως 0,028 mg/l με μέση τιμή 0,010 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο ο ψευδάργυρος κυμαίνεται από <0,001 έως 0,001 mg/l και η μέση τιμή είναι <0,001 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του είναι 0,054 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του ψευδαργύρου κυμαίνονται από <0,001 έως 0,105 mg/l με μέση τιμή 0,012 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,002 έως 0,005 mg/l με μέση τιμή 0,003 mg/l.

Οι τιμές του ψευδαργύρου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από <0,001 έως 0,468 mg/l και ποσοστό 10% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από 0,10 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. (Σχήμα 9.66). Η σύγκριση των δύο περιόδων δείχνει επικρατέστερη κλάση την 0-0,1 και μικρές αυξομειώσεις των τιμών από την υγρή στην ξηρή (Σχήμα 9.67). Οι τιμές του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά σχετίζονται με γεωγενείς παράγοντες. Οφείλονται στη διάλυση και

αποσάθρωση ορυκτών που περιέχουν το μέταλλο αυτό. Επιπλέον στη διάβρωση των γαλβανιζέ σωληνώσεων των υδρογεωτρήσεων, καθώς και στη χρήση αγροχημικών που περιέχουν σαν συστατικό τους το στοιχείο. Εξάλλου και σύμφωνα με τους (*Shomar et al.* 2005) η χρήση λιπασμάτων και μυκητοκτόνων εμπλουτίζει τα εδάφη σε στοιχεία όπως Zn, κ.ά., παρόμοια με την επίδραση που έχουν στο έδαφος τα λύματα.



Σχήμα 9.66. Οι συγκεντρώσεις Zn στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,10 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.



Σχήμα 9.67. Ιστόγραμμα σύγκρισης του Zn των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

Η χωρική κατανομή του ψευδαργύρου παρουσιάζεται στα σχήματα 9.68 και 9.69. Παρατηρούνται σημειακά υψηλότερες τιμές που σχετίζονται με τις προαναφερόμενες αιτίες. Η σύγκριση της χωρικής κατανομής των δύο περιόδων, με την αντίστοιχη των μορφών εδαφικού Zn, εμφανίζει ομοιότητα με τις ανταλλάξιμες μορφές του στοιχείου (Κεφ. 8^{ο}, Σχήμα 8.32β). Το γεγονός συνδέεται με τη χρήση λιπασμάτων στα οποία ο Zn αποτελεί

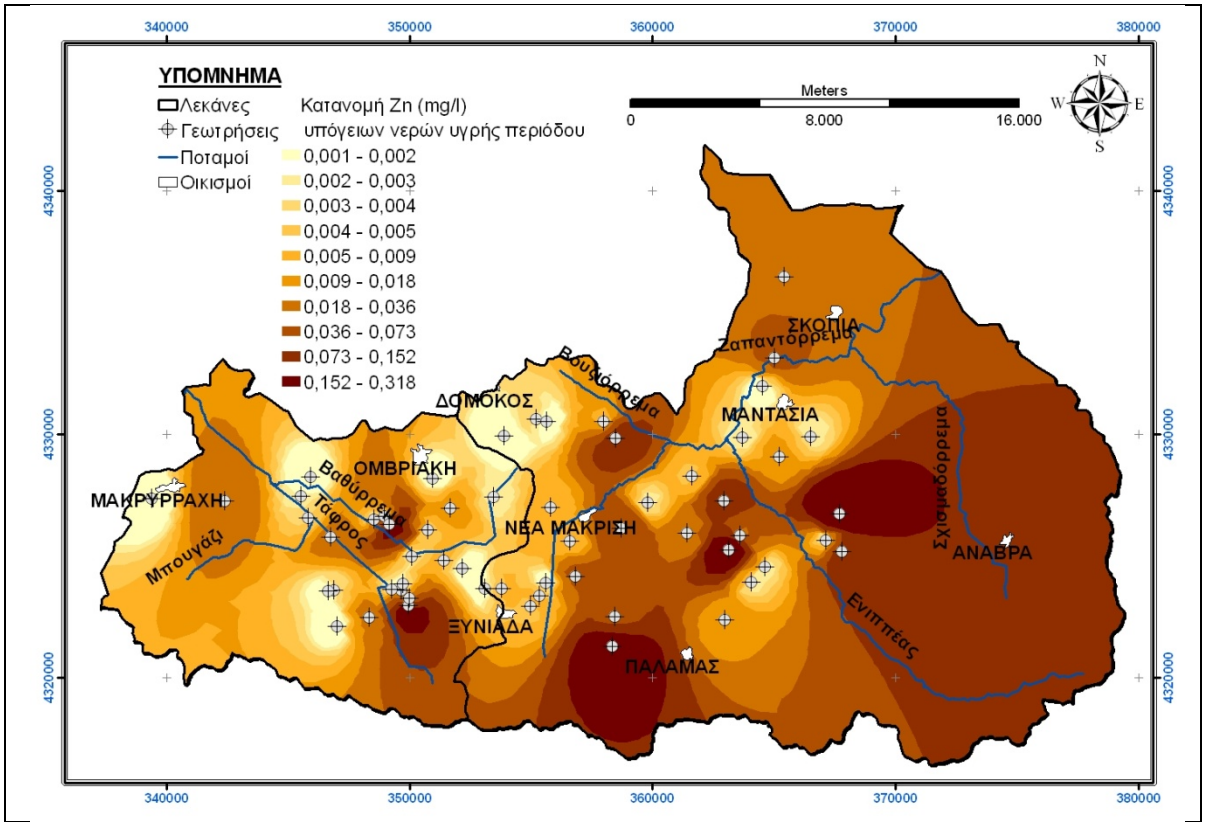
βασικό ιχνοστοιχείο. Εμφανίζεται στις περιοχές με χαμηλότερες τιμές εδαφικού pH, δεδομένου ότι είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τη διαλυτότητα και διαθεσιμότητα του στοιχείου στα εδάφη (*Adriano* 1986). Η ανωτέρω υπόθεση επιβεβαιώνεται από τη χωρική κατανομή του εδαφικού pH (Κεφ. 8^{ο}, Σχήμα 8.6), που εμφανίζει τις χαμηλές τιμές του στις ίδιες περιοχές.

Οι συγκεντρώσεις Zn που βρέθηκαν στα υπόγεια νερά σε άλλες περιοχές είναι, στον Ωρωπό 0,003-0,817 mg/l (*Ζαχαριάδης* 2006) και στην Ανατολική Αττική 0,004-8,683 mg/l (*Χαμπίδη* 2012).

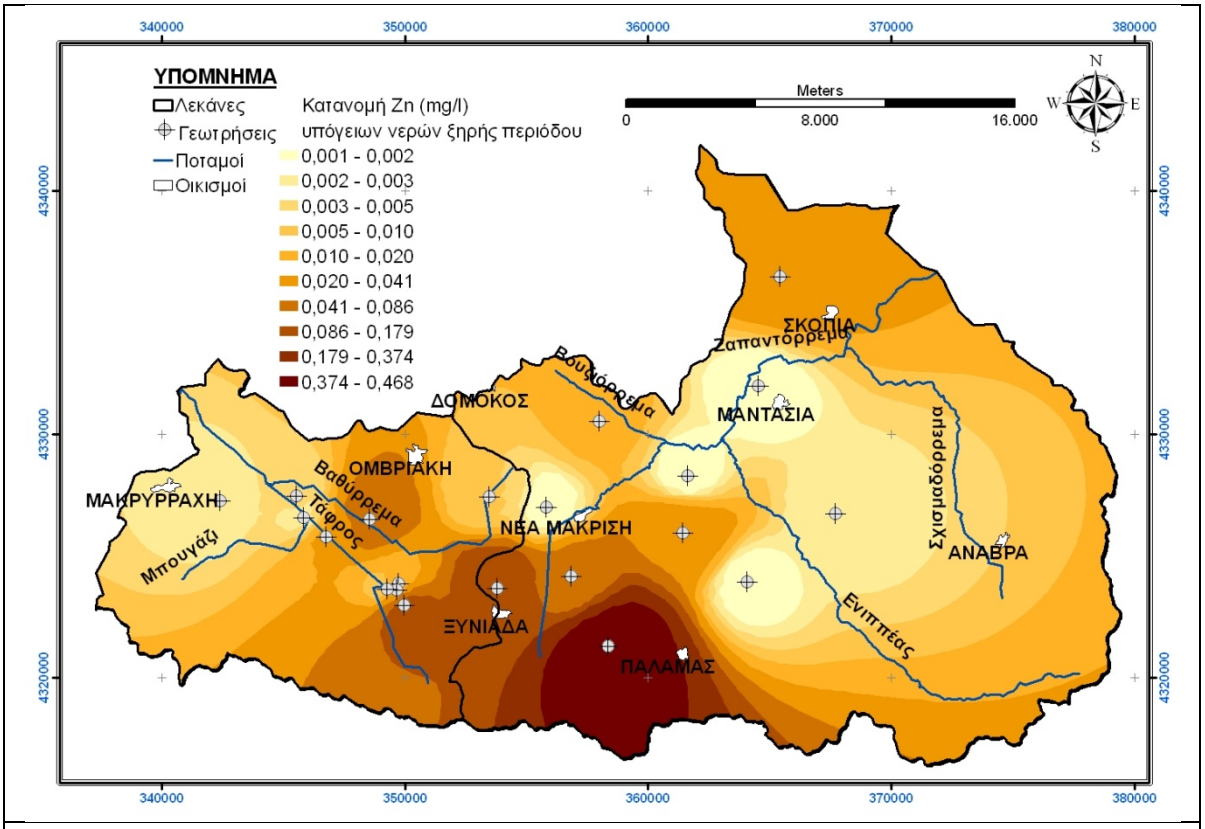
9.3.3.5 Κάδμιο (Cd)

Το κάδμιο δεν έχει δικά του ορυκτά με μόνη ίσως εξαίρεση τον σπάνιο γρηνοκίτη (CdS). Ωστόσο το μέταλλο λαμβάνεται εύκολα από τα συνηθισμένα ορυκτά του ψευδαργύρου, όπως ο σφαλερίτης (ZnS), στα οποία βρίσκεται πάντοτε σε μικρά ποσοστά (συνήθως μικρότερα του 1%) (http://www.chem.uoa.gr). Το κάδμιο είναι ένα σπάνιο στοιχείο της λιθόσφαιρας και απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα μαζί με το μόλυβδο και τον ψευδάργυρο. Στα πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις στα μαγματικά 0,192 mg/kg, στους ψαμμίτες με 0,0199 mg/kg, στους αργίλους με 0,183 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα με 0,0476 mg/kg (*Matthess* 1982).

Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση του καδμίου ανέρχεται σε 0,00011 mg/l, ενώ στα φυσικά υπόγεια νερά σχεδόν απουσιάζει ή εντοπίζεται σε ίχνη λόγω της γεωχημικής κατανομής του και της μη διαλυτότητάς του. Σε πηγές μεταλλοφόρων περιοχών παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 20 μg/l και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 41,1 mg/l (*Σταμάτης* 2009b). Σε μη ρυπασμένα νερά η συγκέντρωση του καδμίου είναι κάτω από 1 μg/l. Πηγές του καδμίου στο νερό είναι τα βιομηχανικά απόβλητα και η διάβρωση των γαλβανισμένων σωλήνων. Σε συστήματα ύδρευσης, που τροφοδοτούνται με νερό μαλακό χαμηλού pH, μπορεί να βρεθούν ψηλές συγκεντρώσεις καδμίου καθώς αυτά τα νερά είναι



Σχήμα 9.68. Χωρική κατανομή του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.69. Χωρική κατανομή του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

πιο διαβρωτικά και η διαλυτότητά του καδμίου στο νερό εξαρτάται από το pH και τη σκληρότητα (*Παππά* 2001). Το κάδμιο εντάσσεται από την Ε.Ε. στην κατηγορία των τοξικών ουσιών με ανώτατη παραδεκτή τιμή συγκέντρωσης στο πόσιμο νερό τα 5 μg/l ή 0,005 mg/l. Ο νόμος για το ασφαλές πόσιμο νερό των ΗΠΑ (SDWA) ορίζει σαν μέγιστο επιτρεπτό όριο την τιμή 5 μg/l (*http://www.deyap.gr*).

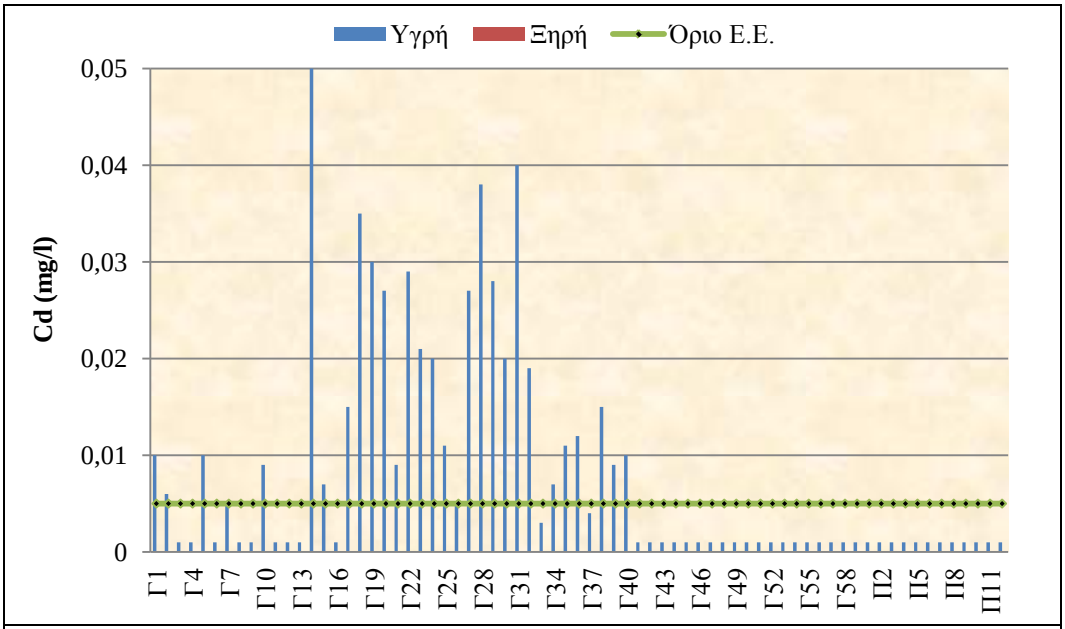
Το κάδμιο χρησιμοποιείται στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (μπαταρίες Ni-Cd), στις επικαλύψεις σιδηρών αντικειμένων (επικαδμιώσεις), στα χρώματα (το θειούχο κάδμιο θεωρείται ως ένα από τα πολυτιμότερα κίτρινα χρώματα) κλπ. Λόγω της τοξικότητάς του γίνεται προσπάθεια περιορισμού της χρήσης του ιδίου και των ενώσεών του και αντικατάστασής του, όπου είναι δυνατόν, από μη τοξικά μέταλλα με παραπλήσιες ιδιότητες (*http://www.chem.uoa.gr*). Η λήψη του καδμίου από τον άνθρωπο πραγματοποιείται κυρίως μέσω της τροφής. Παραδείγματα τέτοιων τροφίμων είναι το συκώτι, τα μανιτάρια, τα οστρακοειδή, τα μύδια, η σκόνη κακάου και τα ξηρά φύκια (*http://www.food-info.net*). Το κάδμιο είναι ένα από τα τοξικότερα μέταλλα προσβάλλει το συκώτι, τα νεφρά, το σπλήνα και το θυρεοειδή αδένα, εναποτίθεται στα οστά, όπου αντικαθιστά το ασβέστιο προκαλώντας τη νόσο ITAI-ITAI. Έχει βρεθεί ότι προκαλεί καρκίνο σε πειραματόζωα και ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες το συνδέουν με καρκίνο στον άνθρωπο (*Παππά* 2001, *http://www.deyap.gr*).

Η διακύμανση του καδμίου στα υπόγεια νερά της περιοχή έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από μη ανιχνεύσιμες (<0,001) έως 0,040 mg/l με μέση τιμή 0,012 mg/l και για την ξηρή περίοδο είναι μη ανιχνεύσιμες.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς είναι μη ανιχνεύσιμες.
- Στο φλύσχη το Cd και για τις δύο περιόδους δεν είναι ανιχνεύσιμο.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς το Cd και για τις δύο περιόδους είναι μη ανιχνεύσιμο.

- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του Cd κυμαίνονται από μη ανιχνεύσιμες έως 0,050 mg/l με μέση τιμή 0,007 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από μη ανιχνεύσιμη έως 0,001 mg/l με μέση τιμή 0,001 mg/l.

Οι τιμές του καδμίου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από μη ανιχνεύσιμες έως 0,050 mg/l. Ποσοστό 29% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 0,005 mg/l που θέτει η Ε.Ε. (Σχήμα 9.70).



Σχήμα 9.70. Οι συγκεντρώσεις Cd στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,005 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

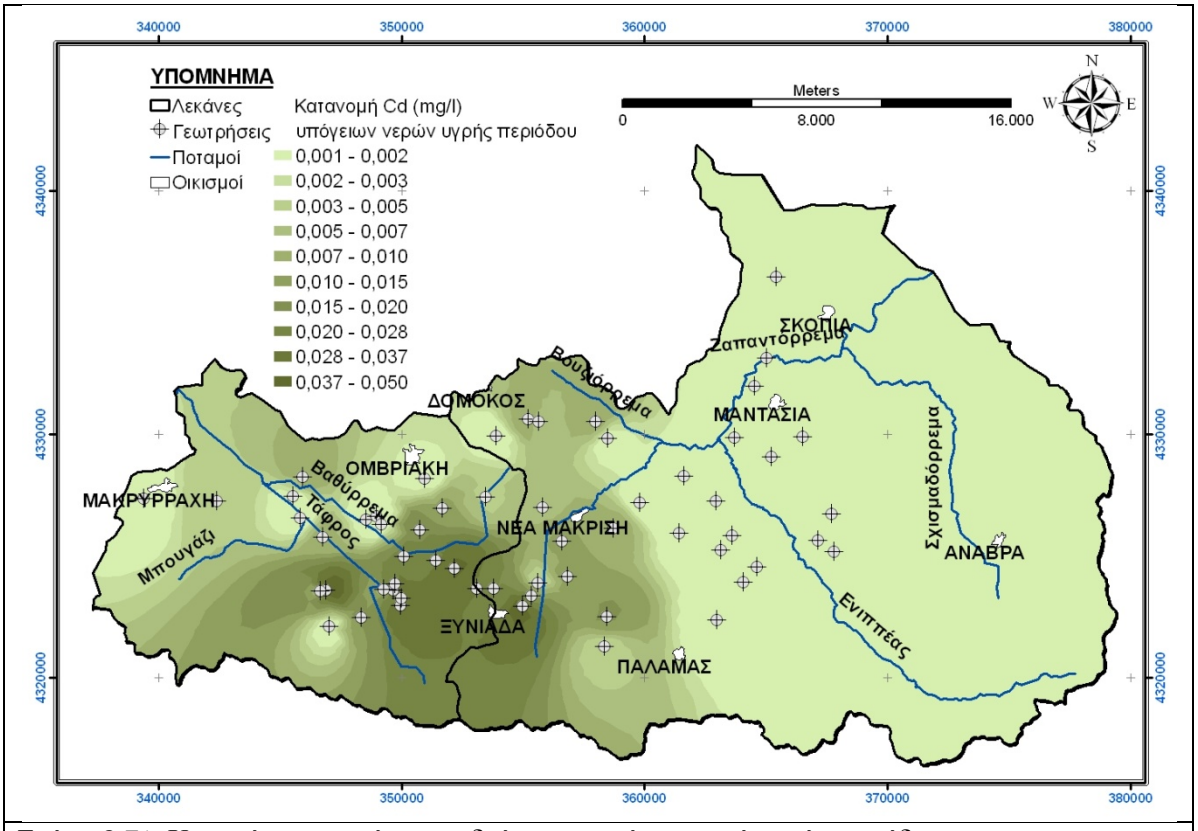
Οι συγκεντρώσεις του καδμίου σχετίζονται με την ύπαρξη του στοιχείου σε ιζηματογενή και πυριγενή πετρώματα (*Page and Bingham* 1973). Επιπλέον με τη χρήση φωσφορικών λιπασμάτων, καθώς το Cd αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο τους (*Alloway* 1995, *Kabata-Pendias and Pendias* 2001, *Μήτσιος* 2004), και με τις καδμιούχες προσμείξεις του ψευδαργύρου των γαλβανισμένων σωλήνων ή καδμιούχων κολλήσεων σε υδραυλικά εξαρτήματα υδροληψίας.

Η χωρική κατανομή του καδμίου για την υγρή περίοδο στην περιοχή έρευνας παρουσιάζεται στο σχήμα 9.71, από όπου διαπιστώνονται υψηλές τιμές στη λεκάνη Ξυνιάδας. Η σύγκριση με τη χωρική κατανομή των μορφών του εδαφικού Cd εμφανίζει ομοιότητα με όλες τις εδαφικές του φάσεις, επιβεβαιώνοντας τη γεωγενή και ανθρωπογενή προέλευση του στοιχείου στα υπόγεια νερά (Κεφ. 8^{ο}, Σχήματα 8.35 & 8.37α-δ).

Οι συγκεντρώσεις Cd των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας συγκρινόμενες βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα με τον Ωρωπό 0,025-0,082 mg/l (*Ζαχαριάδης* 2006), τη λεκάνη του άνω ρου του Ασωπού 0,001-0,060 mg/l (*Τσαραμπάρης* 2010), στον Κάλαμο 0,05-0,50 mg/l (*Stamatis et al.* 2011a) και την Ανατολική Αττική 0-0,076 mg/l (*Χαμπίδη* 2012).

9.3.3.6 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα σχηματίζοντας διάφορα ορυκτά όπως ο γαληνίτης (PbS), ο κερουσίτης ($PbCO_3$) και ο αγγλεσίτης ($PbSO_4$) και δεν παρουσιάζει ευρεία κατανομή στη λιθόσφαιρα. Βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με συγκεντρώσεις 15,6 mg/kg, στους ψαμμίτες με 13,5 mg/kg, στους αργίλους με 80,0 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 16,5 mg/kg και στους εβαπορίτες με 0,9 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,00003 mg/l (*Matthess* 1982).



Σχήμα 9.71. Χωρική κατανομή του καδμίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

Στα φυσικά υπόγεια νερά ο μόλυβδος σχεδόν απουσιάζει ή εντοπίζεται σε ίχνη από 1-20 μg/l λόγω της γεωχημικής κατανομής του και της μη διαλυτότητάς του. Υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε μεταλλοφόρες περιοχές μέχρι 1,3 mg/l, στα θερμομεταλλικά νερά μέχρι 0,52 mg/l, καθώς και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 1,2 mg/l (*Σταμάτης* 2009b). Ο μόλυβδος συγκαταλέγεται από την Ε.Ε. στις τοξικές ουσίες η οποία θέτει σαν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 10 μg/l ή 0,01 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998).

Μεγάλες ποσότητες μολύβδου υπάρχουν στην ατμόσφαιρα από τον τετρααιθυλιούχο μόλυβδο που προστίθεται στη βενζίνη σαν αντικροτικό. Στις περισσότερες χώρες έχει εγκαταλειφθεί και χρησιμοποιείται αμόλυβδη βενζίνη. Χρησιμοποιείται σε μονώσεις, στις μπαταρίες αυτοκινήτων, στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και σε διάφορα κράματα. Θεωρείται αξιόλογο προστατευτικό απέναντι στη ραδιενέργεια. Λόγω της ανθεκτικότητάς του στη διάβρωση χρησιμοποιείται εκτενώς στην οικοδόμηση κτιρίων (*http://el.wikipedia.org*).

Ο μόλυβδος είναι ένα ουσιαστικό ιχνοστοιχείο για τα ζώα και τον άνθρωπο με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να βρίσκονται στο ήπαρ, τα νεφρά, τα επινεφρίδια και τα οστά. Είναι συστατικό πολλών ενζύμων, συμπεριλαμβανομένων της θειώδους οξειδάσης που εμπλέκεται στο μεταβολισμό των αμινοξέων του θείου. Η ανεπάρκεια μολύβδου είναι εξαιρετικά σπάνια και έχει προσδιοριστεί με την παρουσία άλλων σοβαρών παθήσεων. Προκαλεί μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης και προβλήματα στο μεταβολισμό του σιδήρου (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

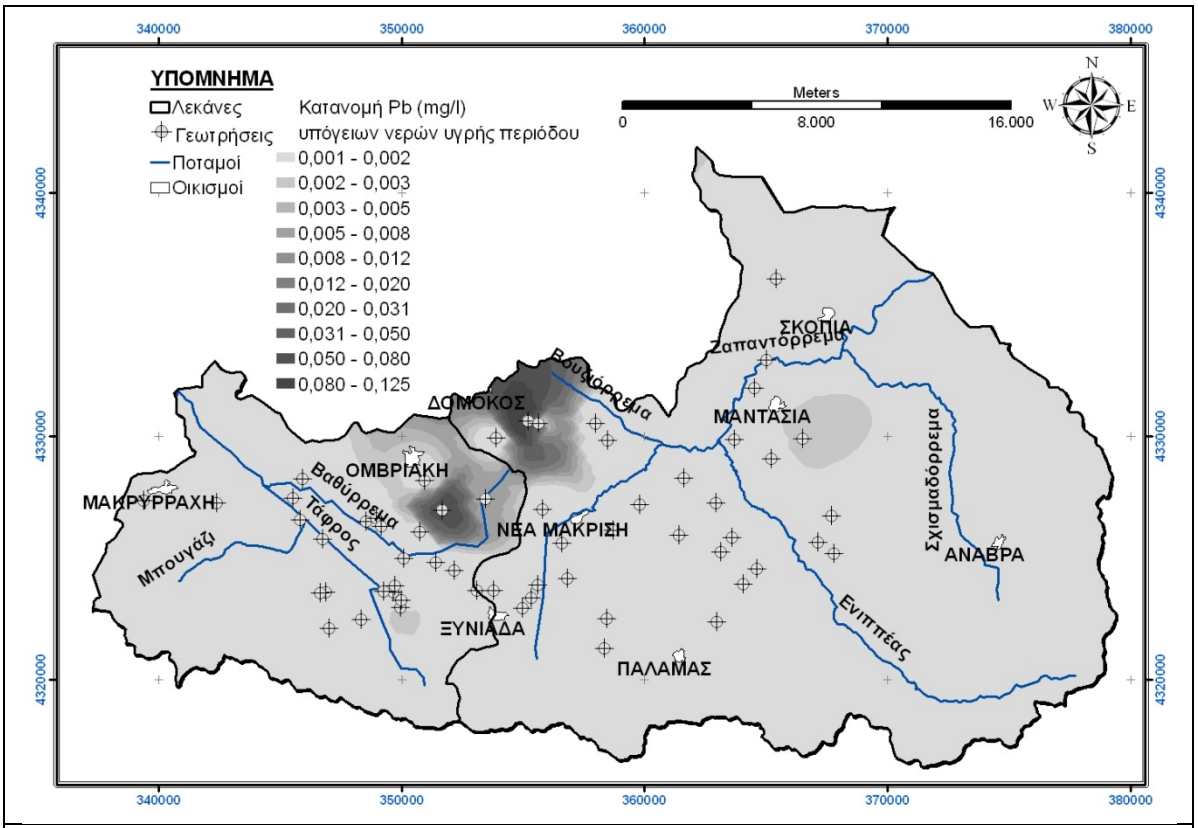
Η τοξικότητα του μολύβδου έχει εξεταστεί εκτενώς. Τα χαρακτηριστικά δηλητηρίασης με μόλυβδο που λαμβάνεται με εισπνοή ή κατάποση περιγράφονται σαν απώλεια της όρεξης, αναιμία, αδιαθεσία, αϋπνία, πονοκέφαλος, πόνοι στους μυς και τα οστά. Ακόμη τρέμουλο, παραισθήσεις, διαστρεβλωμένη αντίληψη, μυϊκή αδυναμία, γαστρίτιδα, αλλαγές στο συκώτι και υψηλή πίεση. Τα κύρια συστήματα που επηρεάζονται είναι το νευρικό

σύστημα, το αίμα και τα νεφρά. Ο μόλυβδος σε υψηλές δόσεις θεωρείται σαν συσσωρευμένο δηλητήριο του μεταβολισμού (http://www.deyap.gr).

Η διακύμανση του μολύβδου στα υπόγεια νερά της περιοχή έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από μη ανιχνεύσιμες (<0,001) έως 0,063 mg/l με μέση τιμή 0,003 mg/l και για την ξηρή περίοδο είναι μη ανιχνεύσιμες.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από μη ανιχνεύσιμες (<0,001) έως 0,001 mg/l με μέση τιμή 0,001 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Pb είναι <0,001 και 0,002 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,001 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο οι τιμές είναι μη ανιχνεύσιμες.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς ο Pb και για τις δύο περιόδους είναι μη ανιχνεύσιμος.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του Pb κυμαίνονται από μη ανιχνεύσιμες έως 0,125 mg/l με μέση τιμή 0,011 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από μη ανιχνεύσιμη έως 0,001 mg/l με μέση τιμή 0,001 mg/l.

Οι τιμές του μολύβδου κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα και για το σύνολο των δειγμάτων είναι από μη ανιχνεύσιμες έως 0,125 mg/l και μόνο δύο από τα δείγματα είχαν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 0,01 mg/l που θέτει η Ε.Ε. Οι χαμηλές τιμές σχετίζονται με το δυσκίνητο χαρακτήρα του στοιχείου και το γεγονός ότι δεσμεύεται εύκολα από την οργανική ουσία (*Μήτσιος* 2004). Οι τιμές του Pb οφείλονται στην παρουσία του στοιχείου στα αργιλικά ιζήματα της περιοχής έρευνας και συνδέονται με την περιεκτικότητας τους σε πυρίτιο. Στο σχήμα 9.72 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του μολύβδου για την υγρή περίοδο, όπου διαπιστώνονται υψηλές τιμές στο βόρειο κεντρικό περιθώριο της περιοχής έρευνας. Η σύγκριση με τη χωρική κατανομή των εδαφικών μορφών του Pb παρουσιάζει ομοιότητες με τη συνδεδεμένη με την οργανική ουσία, ανθρακικές ενώσεις και τα οξείδια



Σχήμα 9.72. Χωρική κατανομή του μολύβδου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

Fe και Mn μορφή, καθώς και τη δεσμευμένη στο πλέγμα των ορυκτών φάση, επιβεβαιώνοντας τη γεωγενή προέλευση του στοιχείου (Κεφ. 8^{ο}, Σχήμα 8.42γ-δ).

Οι συγκεντρώσεις Pb σε άλλες περιοχές βρέθηκαν στη λεκάνη του άνω ρου του Ασωπού 0,002-0,284 mg/l (*Τσαραμπάρης* 2010), στο Κάλαμο <0,001-0,065 mg/l (*Stamatis et al.* 2011a) και στην Ανατολική Αττική 0-0,434 mg/l (*Χαμπίδη* 2012).

9.3.3.7 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο αποτελεί το 5^{ο} πιο κοινό στοιχείο στη Γη. Είναι ένα στοιχείο το οποίο συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών (*http://www.larco.gr*). Σπουδαιότερα ορυκτά του είναι ο νικελίτης NiAs, ο νικελιοπυρίτης (ή μιλλερίτης) NiS, ο πετλανδίτης (Ni,Fe)S κ.ά. Ελεύθερο νικέλιο ή (συνηθέστερα) ως κράμα με σίδηρο βρίσκεται σε μετεωρίτες (*http://www.chem.uoa.gr*). Το Ni βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με 93,8 mg/kg, στους ψαμμίτες με 2,6 mg/kg, στους αργίλους με 29,4 mg/kg, στα ανθρακικά με 12,8 mg/kg και στους εβαπορίτες με 1,4 mg/kg. Τα τυπικά εδάφη περιέχουν 10-100 mg Ni /kg, ενώ στο πόσιμο νερό αναφέρονται χαμηλές συγκεντρώσεις 2-5 μg/l (*Matthess* 1982).

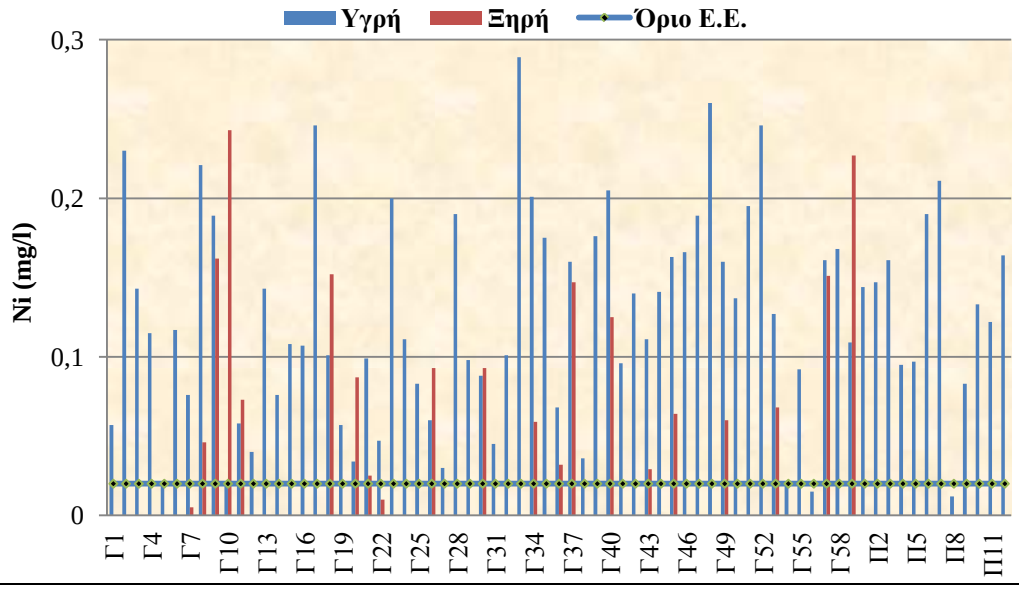
Στα φυσικά υπόγεια νερά το νικέλιο βρίσκεται στη δισθενή μορφή και οι συγκεντρώσεις δεν υπερβαίνουν το 1 mg/l. Στα υπόγεια νερά γεωτρήσεων εκμετάλλευσης πετρελαίων αναφέρονται υψηλές συγκεντρώσεις από 4-40 mg/l. Σε μεταλλευτικές περιοχές βρίσκονται συγκεντρώσεις στα νερά μέχρι 4 mg/l. Σε όξινα νερά (pH=1,9) αναφέρονται συγκεντρώσεις μέχρι 319,3 mg/l (*Σταμάτης* 2009b). Το Ni συγκαταλέγεται από την Ε.Ε. στις τοξικές ουσίες η οποία θέτει σαν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 0,02 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998).

Το Νικέλιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο και βρίσκεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις στους πνεύμονες και στα νεφρά. Μπορεί να ενεργοποιήσει ή να αναστέλλει μια σειρά ενζύμων που συνήθως περιέχουν άλλα στοιχεία. Η παραγωγή ή η δράση ορισμένων ορμονών (προλακτίνη, αδρεναλίνη, νοραδρεναλίνη, αλδοστερόνη) ανταποκρίνεται στις αλλαγές στη συγκέντρωση του νικελίου. Η έλλειψη σε νικέλιο δεν είναι συνηθισμένη και συνδέεται με χαμηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, μη φυσιολογική ανάπτυξη των οστών και γενικότερα μειωμένη ανάπτυξη. Τοξικότητα παρουσιάζεται σε εργαζόμενους που βρίσκονται σε συνεχή έκθεση σε σκόνη νικελίου και μπορεί να προκαλέσει άσθμα και δερματίτιδα και καρκίνο των ρινικών και του πνεύμονα. Η υπερβολική δόση νικελίου στους ιστούς βλάπτει τα χρωμοσώματα και τα άλλα συστατικά των κυττάρων και αλλάζει τις δραστηριότητες των ορμονών και των ενζύμων (*www.tjclarkinc.com/minerals*).

Το νικέλιο χρησιμοποιείται κυρίως σε κράματα με το χάλυβα (νικελιοχάλυβας) για την επαύξηση της σκληρότητας και της ανθεκτικότητάς του. Χαρακτηριστική επίσης είναι και η επινικέλωση διαφόρων υλικών κυρίως οικιακής χρήσης για προστασία από τη διάβρωση. Άλλες χρήσεις του είναι στην παραγωγή μπαταριών, στην κατασκευή διαφόρων εργαλείων, αντικειμένων πολυτελείας, χημικών οργάνων, εξαρτημάτων ραδιοφώνων και ηλεκτρονικών συσκευών(*http://el.wikipedia.org*).

Η διακύμανση του Νικελίου στα υπόγεια νερά της περιοχή έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από 0,021 έως 0,289 mg/l με μέση τιμή 0,133 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 0,010 mg/l έως 0,243 mg/l με μέση τιμή 0,092 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,137 έως 0,147 mg/l με μέση τιμή 0,142 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Ni είναι 0,015 και 0,246 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,126 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,068 mg/l έως 0,227 mg/l με μέση τιμή 0,149 mg/l.
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Ni κυμαίνεται από 0,012 έως 0,211 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,101 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής

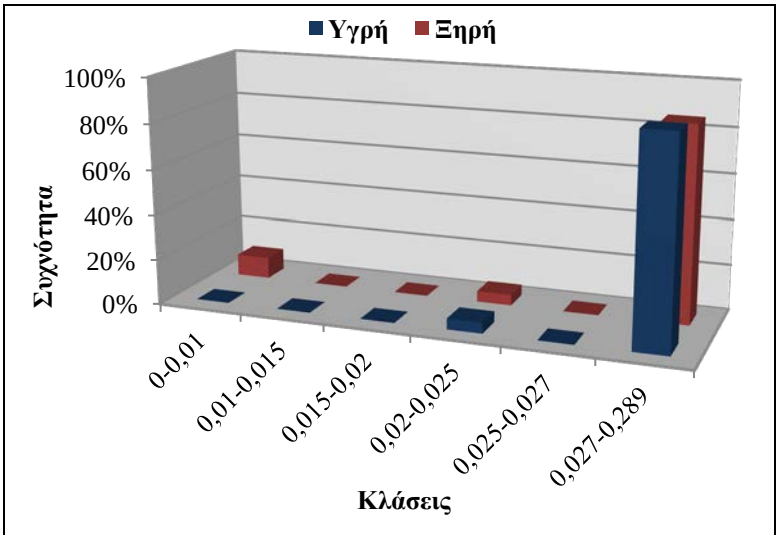


Σχήμα 9.73. Οι συγκεντρώσεις Ni στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,02 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

περιόδου η τιμή του είναι 0,073 mg/l.

- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του Ni κυμαίνονται από 0,057 έως 0,230 mg/l με μέση τιμή 0,117 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,005 έως 0,093 mg/l με μέση τιμή 0,048 mg/l.

Οι τιμές του νικελίου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από 0,005 έως 0,289 mg/l και ποσοστό 95% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 0,02 mg/l που θέτει η Ε.Ε. (Σχήμα 9.73). Η σύγκριση των δύο περιόδων εμφανίζει παρόμοιες τιμές και την πλειοψηφία των τιμών στη κλάση 0,027-0,289 mg/l (Σχήμα 9.74).



Σχήμα 9.74. Ιστόγραμμα σύγκρισης του Ni των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

Η ύπαρξη οφιόλιθων στο γεωλογικό υπόβαθρο και η αποσάθρωσής τους, που παράγει εδάφη με υψηλές τιμές Ni αποτελούν τους βασικούς παράγοντες ύπαρξης συγκεντρώσεων του μετάλλου στην περιοχή έρευνας. Εξάλλου τα υπερβασικά πετρώματα, όπως ο περιδοτίτης, ο δουνίτης και ο πυρόξενος, περιέχουν μεγάλο ποσοστό Ni και ακολουθούν βασικά πετρώματα όπως ο γάββρος και ο βασάλτης (*Μήτσιος* 2004). Επιπλέον, η διάβρωση

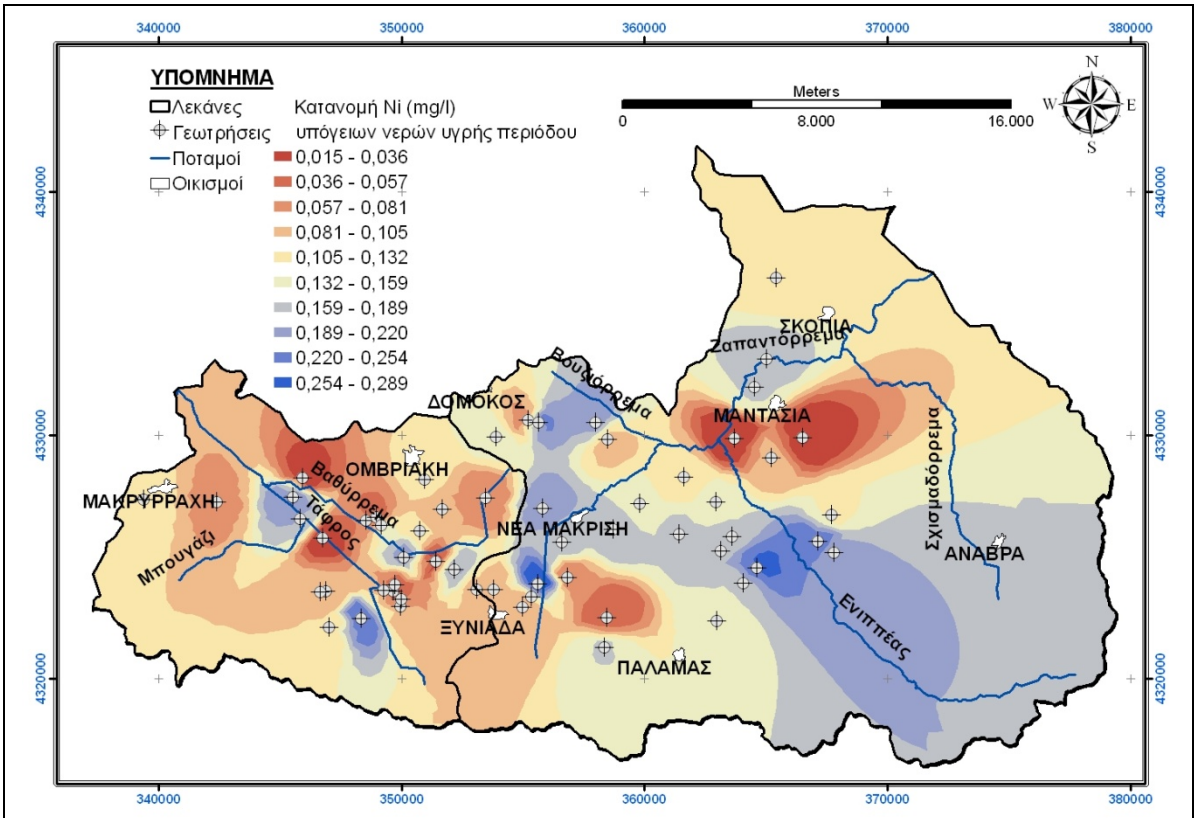
των εγκαταστάσεων υδροληψίας είναι δυνατόν να τροφοδοτήσει με το στοιχείο τα υπόγεια νερά καθώς ενώσεις νικελίου βρίσκονται σαν συστατικά στις επιμεταλλώσεις των σωληνώσεων.

Στα σχήματα 9.75 και 9.76 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του νικελίου στην περιοχή έρευνας. Διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές σε περιοχές με γεωλογικό υπόβαθρο οφιολιθικούς σχηματισμούς και στη περιοχή της πρώην λίμνης. Η σύγκριση με τη χωρική κατανομή των μορφών του Ni στο έδαφος εμφανίζει ομοιότητα με τις ανταλλάξιμες μορφές του μετάλλου (Κεφ. 8^{ο}, Σχήμα 8.47β). Το γεγονός συνδέεται με την κινητικότητα του στοιχείου σε εδάφη με σχετικά χαμηλότερες τιμές pH και πλούσια σε υπόστρωμα οργανικών (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001).

Οι συγκεντρώσεις Ni που βρέθηκαν στα υπόγεια νερά σε άλλες περιοχές είναι: στον Ωρωπό 0,002-0,124 mg/l (*Ζαχαριάδης* 2006), στη λεκάνη του άνω ρου του Ασωπού 0,010-0,309 mg/l (*Τσαραμπάρης* 2010) και στο Κάλαμο 0,2-83,5 μg/l (*Stamatis et al.* 2011a).

9.3.3.8 Κοβάλτιο (Co)

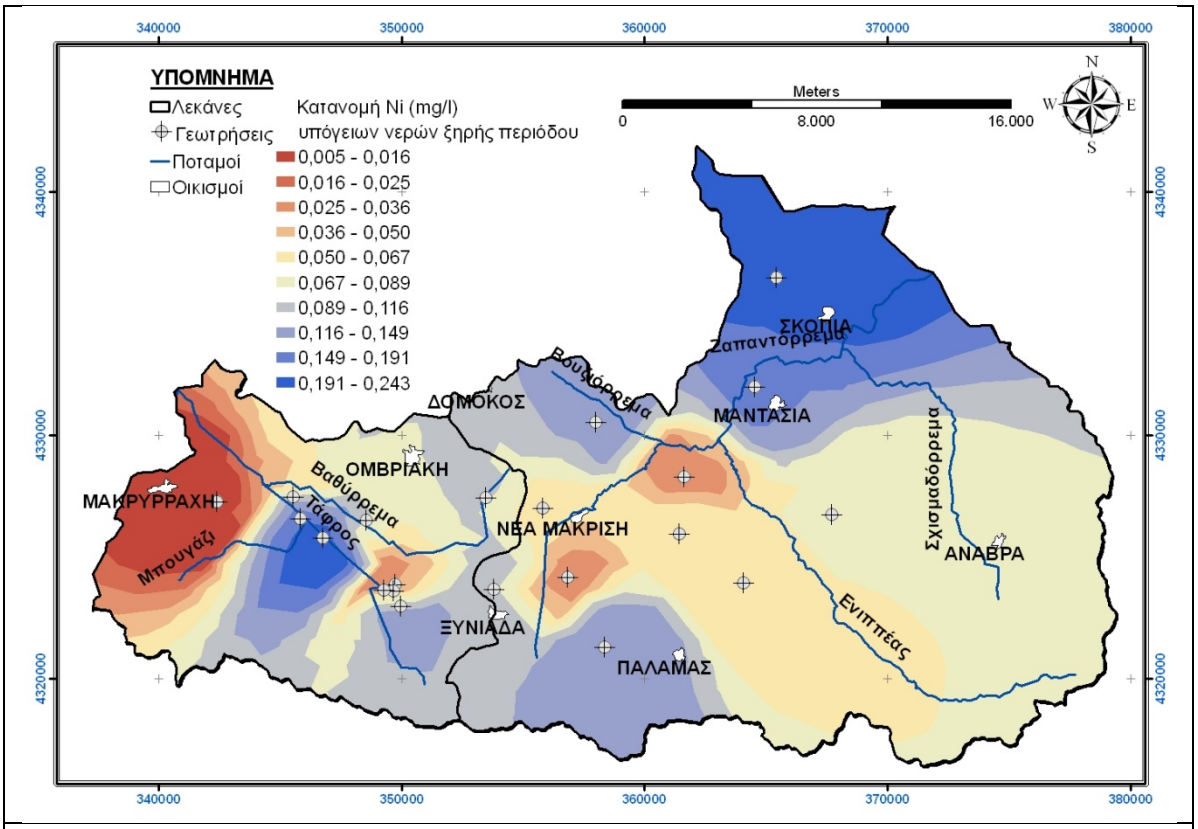
Το κοβάλτιο ανευρίσκεται σε ορυκτά χαλκού και νικελίου και σε συνδυασμό με το θείο και το αρσενικό σε άλλα ορυκτά, όπως ο κοβαλτίτης (CoAsS) και ο ερυθρίτης ($Co_3AsO_4 \cdot 8(H_2O)$) (*http://el.wikipedia.org*). Το κοβάλτιο βρίσκεται κυρίως στα μαγματικά πετρώματα με 23 mg/kg και ιδιαίτερα στα υπερβασικά πετρώματα, στις μεταλλοφόρες περιοχές μαζί με άλλα μέταλλα και στα ιζήματα σε ίχνη (>8,0 mg/kg). Συνήθως απαντάται με τη δισθενή μορφή του. Το $Co(OH)_2$ διαλύεται εύκολα όπως η ένωση $Fe(OH)_2$. Το Co προσροφάται από τα κολλοειδή υδροξείδια του Fe και Mn και γι' αυτό η συγκέντρωσή του στο υπόγειο νερό εμφανίζεται μόνον σε ίχνη. Σε μεταλλοφόρες περιοχές εμφανίζονται τιμές μέχρι και 20 μg/l (*Matthess* 1982). Η κανονική συγκέντρωση του στα επιφανειακά εδάφη συνήθως κυμαίνεται



Σχήμα 9.75. Χωρική κατανομή του νικελίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

από 0,1-70 ppm με μια μέση τιμή 7,9 ppm. Ελλείψεις κοβαλτίου παρατηρούνται κυρίως σε αλκαλικά ή ασβεστούχα εδάφη, ελαφρά εκπλυμένα εδάφη και σε εδάφη με υψηλή

περιεκτικότητα οργανικής ουσίας. Στο θαλασσινό νερό βρίσκεται σε συγκεντρώσεις 0,00039 mg/l. Η Ε.Ε. συγκαταλέγει το Co στις ανεπιθύμητες ουσίες, δεν δίνει όμως επιτρεπτά όρια στο πόσιμο νερό. Για το νερό άρδευσης η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι τα 50 μg/l (*Σταμάτης* 2009b).



Σχήμα 9.76. Χωρική κατανομή του νικελίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

Το κοβάλτιο σχεδόν στο σύνολό του χρησιμοποιείται στην παραγωγή κραμάτων και στις επικοβαλτιώσεις σιδηρών αντικειμένων. Τα κράματά του χαρακτηρίζονται από μεγάλη σκληρότητα και ανθεκτικότητα έναντι των χημικών αντιδραστηρίων και χρησιμοποιείται στην κατασκευή μόνιμων μαγνητών. Το κράμα που είναι γνωστό ως Alnico (8-12% Al, 15-26% Ni, 5-24% Co, μέχρι 6% Cu και 1% Ti, το υπόλοιπο είναι Fe) χρησιμοποιείται για την κατασκευή ισχυρών μόνιμων μαγνητών, που είναι έως και 25 φορές ισχυρότεροι από τους μαγνήτες από χάλυβα. Ενώσεις του κοβαλτίου χρησιμοποιούνται στην κεραμοποιία, υαλουργία (περίφημη είναι η ύαλος κοβαλτίου), στην παρασκευή χρωμάτων και ως καταλύτες (*http://www.chem.uoa.gr*).

Για τον άνθρωπο το κοβάλτιο είναι απαραίτητο στοιχείο, αποκλειστικά και μόνο, επειδή αποτελεί βασικό συστατικό της βιταμίνης B12. Έχει διαπιστωθεί ότι όταν παρέχεται Co σε ανθρώπους για θεραπευτικούς σκοπούς τότε αυξάνει η χοληστερίνη στο αίμα ενώ δεν αποκλείεται να παίζει ρόλο στην εμφάνιση της αρτηριοσκλήρωσης και της καρκινογένεσης. Είναι ιχνοστοιχείο, με βλαβερές επιπτώσεις για τον ανθρώπινο οργανισμό, καθώς η χρόνια λήψη του σε μικρές συγκεντρώσεις προκαλεί καρδιοαγγειακές παθήσεις. Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού θεωρούνται όσοι καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες μπύρας γιατί θειικό κοβάλτιο προστίθεται στην παραγωγή μπύρας για την βελτίωση της σταθερότητας του αφρού (*Σταμάτης* 2009b).

Οι συγκεντρώσεις κοβαλτίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι για όλα τα δείγματα μη ανιχνεύσιμες (<0,001 mg/l). Οι τιμές αυτές του Co έρχονται σε αντίθεση με τις υψηλές τιμές που βρέθηκαν στα εδάφη. Το γεγονός σχετίζεται με την χαμηλή κινητικότητα

του στοιχείου στο εδαφικό διάλυμα (*Kabata-Pendias and Pendias* 2001) και επιπλέον με την τάση προσρόφησης του στοιχείου από τα ένυδρα οξείδια του Fe και Mn (*Tisdale and Nelson* 1975). Η απορρόφηση τους αυξάνεται με το pH με αντίδραση ταχείας μορφής (*Adriano* 2001). Οι τιμές Co στα υπόγεια νερά στον Κάλαμο είναι 0,03-0,91 μg/l (*Stamatis et al.* 2011a) και στην Ανατολική Αττική 0-0,010 mg/l (*Χαμπίδη* 2012).

9.3.3.9 Χρώμιο ολικό (Cr_{tot})

Το χρώμιο είναι το 21^{ο} πιο συνηθισμένο στοιχείο στην επιφάνεια της γης με μέση συγκέντρωση 100 ppm (*http://el.wikipedia.org*). Το χρώμιο απαντάται σε μικρές συγκεντρώσεις στη λιθόσφαιρα: στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 198 mg/kg, στους ψαμμίτες με 120 mg/kg, στους αργίλους με 423 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 7,08 mg/kg και στους εβαπορίτες με 10,6 mg/kg.

Τα κυριότερα ορυκτά είναι ο χρωμίτης ($FeOCr_2O_3$) που είναι το κύριο στοιχείο των υπερβασικών πετρωμάτων και ο κροκοίτης ($PbCrO_4$) που βρίσκεται κυρίως στη ζώνη οξείδωσης των μολυβδούχων κοιτασμάτων. Το χρώμιο απαντά στη φύση στην εξασθενή και τρισθενή μορφή (*Matthess* 1982). Σχεδόν όλο το χρώμιο στη φύση βρίσκεται ως τρισθενές χρώμιο Cr(III), το οξείδιο του οποίου βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε πολλούς τύπους πετρωμάτων. Τα ηφαιστειακά (βασάλτες) και τα πλουτώνεια πετρώματα (γάβροι, περιδοτίτες και δουνίτες) περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις Cr^{3+}. Εντοπίζεται συνήθως σε υπερβασικά πυριγενή πετρώματα από οφιόλιθους, στα αντίστοιχα μεταμορφωμένα που προέρχονται από τους οφιόλιθους, καθώς και σε διάφορους τύπους σχιστόλιθων, στους βωξίτες στους λατερίτες κλπ (*Θεοδωρίκας* 1997, *Κελεπερτζής* 1993).

Τα φυσιολογικά επίπεδα του χρωμίου στα μη ρυπασμένα επιφανειακά ύδατα κυμαίνονται στην περιοχή 1-10 μg/l, ενώ στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις του βρίσκονται στην περιοχή 0,4-8 μg/l. Στον αέρα βρίσκεται σε συγκεντρώσεις <0,1 μg/m^3.

Το εξασθενές χρώμιο Cr(VI), που συναντάται στο περιβάλλον είναι σχεδόν αποκλειστικά από δραστηριότητες του ανθρώπου. Διάφορες βιομηχανίες εκπέμπουν στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος πλήθος ενώσεων του Cr(VI). Το Cr(VI) είναι σταθερό στον αέρα και στο καθαρό νερό, αλλά ανάγεται ταχύτατα προς Cr(III) όταν έρθει σε επαφή με οργανική ύλη στο νερό, στο έδαφος και σε ζωντανούς οργανισμούς. Η σχέση μεταξύ του Cr^{+3} και του Cr^{+6} εξαρτάται άμεσα από το pH και τα οξειδωτικά στοιχεία της περιοχής. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως το Cr^{+3} υπερισχύει παρόλο που σε μερικές περιοχές τα υπόγεια ύδατα μπορούν να περιέχουν έως και 39 μg χρωμίου συνολικά και τα 30 μg από αυτά να είναι Cr^{+6} (*http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6.htm*). Η Ε.Ε. περιλαμβάνει το ολικό χρώμιο στην κατηγορία των χημικών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία και ορίζει σαν παραμετρική τιμή συγκέντρωσής του τα 50 μg/l (0,05 mg/l) (*EU Council directive 98/83* 1998).

Το χρώμιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο στη διατροφή του ανθρώπου, χρησιμοποιείται για το μεταβολισμό της ζάχαρης και των λιπιδίων και αυξάνει την ενισχυτική δράση της ινσουλίνης. Στο σώμα απαντάται στην τρισθενή του μορφή με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του να υπάρχουν στο ήπαρ, τα νεφρά, τη σπλήνα και τα οστά.

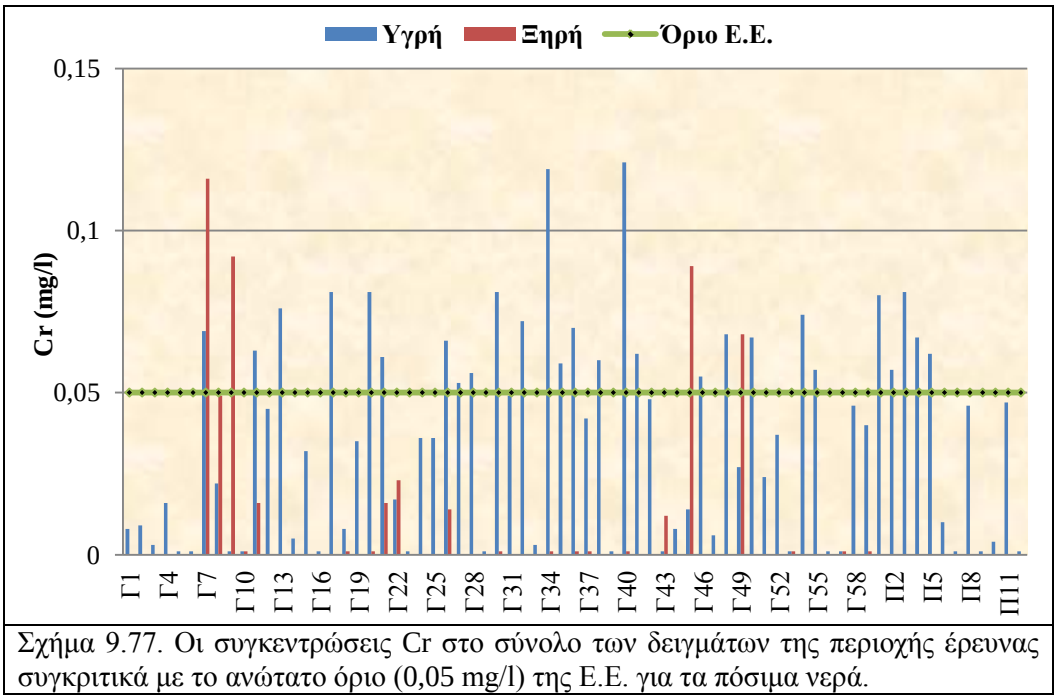
Πηγές χρωμίου στα τρόφιμα είναι το κρέας, τα πουλερικά, τα ψάρια, τα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα φρούτα, τα λαχανικά και τα δημητριακά ολικής αλέσεως Η επεξεργασία τροφίμων με εξοπλισμό από ανοξείδωτο χάλυβα μπορεί να αυξήσει τη συγκέντρωση χρωμίου τους, ειδικά εάν τα τρόφιμα είναι όξινα. Η ανεπάρκεια χρωμίου μπορεί να προκαλέσει δυσανεξία γλυκόζης στους διαβητικούς, αρτηριοσκλήρωση, καρδιακές παθήσεις, αναστολή ανάπτυξης, παχυσαρκία και κούραση. Οι τοξικές επιπτώσεις περιορίζονται κυρίως σε βιομηχανική έκθεση σε εξασθενές χρώμιο, οι ενώσεις του οποίου μπορεί να είναι καρκινογόνες και είναι πολύ πιο τοξικές από τις τρισθενείς μορφές του. Η οξύτητα του στομάχου μετατρέπει τη φόρμα του εξασθενούς χρωμίου σε τρισθενές που

απορροφάται από το γαστρεντερικό σωλήνα. Το τρισθενές χρώμιο είναι ένα από τα λιγότερο τοξικά θρεπτικά στοιχεία (www.tjclarkinc.com/minerals).

Η διακύμανση του ολικού χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχή έρευνας είναι:

- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις για την υγρή περίοδο από <0,001 έως 0,121 mg/l με μέση τιμή 0,043 mg/l και για την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από <0,001 mg/l έως 0,092 mg/l με μέση τιμή 0,022 mg/l.
- Στους σχηματισμούς του νεογενούς από 0,057 έως 0,067 mg/l με μέση τιμή 0,062 mg/l.
- Στο φλύσχη για την υγρή περίοδο η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του Cr_{tot} είναι <0,001 και 0,074 mg/l αντίστοιχα και η μέση τιμή 0,026 mg/l, ενώ στην ξηρή περίοδο οι τιμές είναι μη ανιχνεύσιμες (<0,001 mg/l).
- Στους ανθρακικούς σχηματισμούς για την υγρή περίοδο το Cr_{tot} κυμαίνεται από <0,001 έως 0,080 mg/l και η μέση τιμή είναι 0,029 mg/l, ενώ στη γεώτρηση της ξηρής περιόδου η τιμή του είναι 0,016 mg/l.
- Στους οφιόλιθους για την υγρή περίοδο οι τιμές του Cr_{tot} κυμαίνονται από <0,001 έως 0,081 mg/l με μέση τιμή 0,037 mg/l και για την ξηρή περίοδο η διακύμανση είναι από 0,014 έως 0,116 mg/l με μέση τιμή 0,060 mg/l.

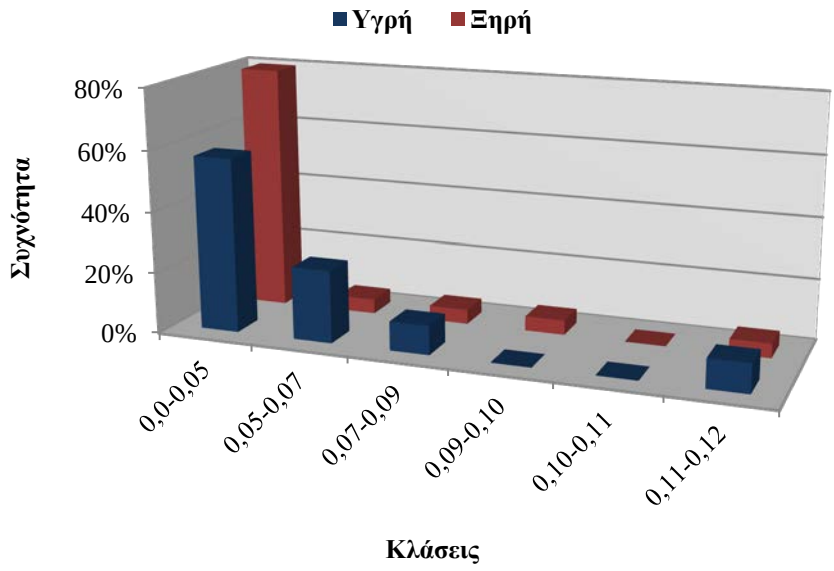
Οι τιμές του ολικού χρωμίου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από <0,001 έως 0,121 mg/l και ποσοστό 34% των δειγμάτων έχουν τιμές πάνω από την παραμετρική τιμή των 0,05 mg/l που ορίζει η Ε.Ε. (Σχήμα 9.77). Η σύγκριση των δύο περιόδων δείχνει πτώση των συγκεντρώσεων την ξηρή περίοδο κάτω από το όριο των 0,05 mg/l προφανώς λόγω του καθαρισμού των σωληνώσεων (Σχήμα 9.78).



Σχήμα 9.77. Οι συγκεντρώσεις Cr στο σύνολο των δειγμάτων της περιοχής έρευνας συγκριτικά με το ανώτατο όριο (0,05 mg/l) της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

Η παρουσία του ολικού χρωμίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι γεωγενής και σχετίζεται με την επαφή του νερού με τις ενώσεις χρωμίου των ορυκτών των οφιολίθων που είναι πλούσια στην περιοχή του οροπεδίου. Οι πηγές Π3, Π4 και Π5, καθώς και οι γεωτρήσεις Γ7, Γ34 και Γ40 των οποίων οι υδροφόροι εκμεταλλεύονται την υδροφορία των οφιολιθικών σχηματισμών, αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα.

Το Cr^{3+} στο περιβάλλον απαντά με τη μορφή των χρωμιούχων οξειδίων Cr_2O_3 και υδροξειδίων $Cr(OH)_3$, καθώς και ως διαλυτά κατιόντα $CrOH^{2+}$ και $Cr(OH)_2^{+}$, ενώ το Cr^{6+} απαντά με τη μορφή χρωμικών (CrO_4^{2-}) και διχρωμικών ($Cr_2O_7^{2-}$) ανιόντων. Οι κυρίαρχες



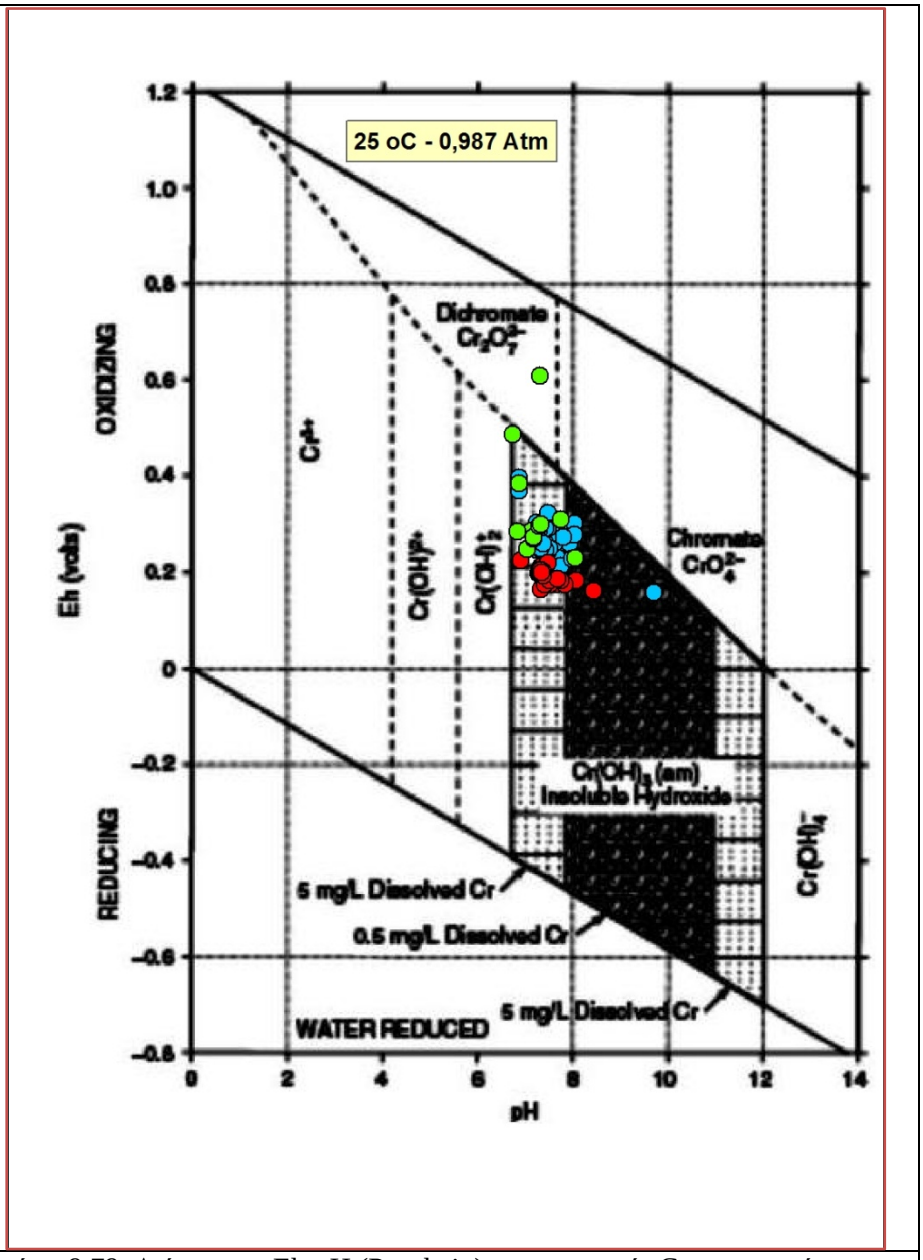
Σχήμα 9.78. Ιστόγραμμα σύγκρισης του Cr των υπόγειων νερών υγρής-ξηρής περιόδου.

μορφές του Cr(III) στο περιβάλλον είναι τα υδροξυ-σύμπλοκα $Cr(OH)^{2+}$ aq. και $Cr(OH)_3$ aq., καθώς το τρι-υδροξείδιο του χρωμίου $[Cr(OH)_3]$ είναι σπάνια διαλυτό σε pH 5,5 έως 12, που είναι συνήθως το pH των φυσικών υδάτων. Σε υψηλότερο pH μετασχηματίζεται στο εύκολα διαλυτό τετρα-υδροξυ σύμπλοκο $[Cr(OH)_4^-]$ (*Kotaś and Stasicka* 2000 από *Πολίτη* 2011).

Στο σχήμα 9.79 παρουσιάζεται το διάγραμμα επικρατούντος ιόντος του οξειδοαναγωγικού δυναμικού με το pH (διάγραμμα Pourbaix), με τις μορφές του Cr που επικρατούν στα υδάτινα διαλύματα. Διαπιστώνεται ότι στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας κυριαρχεί το υδροξυ-σύμπλοκο $[Cr(OH)_3$ aq.] του τρισθενούς χρωμίου και μόνο στα νερά της πηγής Π12 εντός του οικισμού της Σκοπιάς, επικρατεί η διχρωμική μορφή ανιόντος ($Cr_2O_7^{2-}$) του εξασθενούς. Η μορφή αυτή αποδίδεται στο υψηλό ρυπαντικό φορτίο της πηγής, καθώς η παρουσία στα νερά των O_2, NO_3^- και SO_4^{2-} τα οποία λειτουργούν σαν αποδέκτες ηλεκτρονίων δημιουργεί οξειδωτικές συνθήκες (*Massmann et al.* 2004) οδηγώντας στην οξείδωση του Cr^{3+} σε Cr^{6+}.

Η χωρική κατανομή του ολικού χρωμίου παρουσιάζεται στα σχήματα 9.80 και 9.81. Διαπιστώνονται οι υψηλές τιμές σε περιοχές που οι υδροφόροι τους τροφοδοτούνται από υπερβασικά πετρώματα στα περιθώρια της λεκάνης του οροπεδίου και σε περιοχές των τεταρτογενών ιζημάτων, όπου προφανώς συμμετέχει κλαστικό υλικό οφιολιθικής προέλευσης άφθονο σε οξείδια του χρωμίου. Επιπλέον, οι υψηλές τιμές εντοπίζονται περιμετρικά του οικισμού των μεταλλείων που είναι πλούσια σε χρωμιτικές εμφανίσεις. Το γεγονός σχετίζεται με την ύπαρξη του μεταλλείου χρωμίου, κάτι που συνεπικουρεί τελικά στις υψηλότερες συγκεντρώσεις του στοιχείου στην περιοχή αυτή. Η σύγκριση με την χωρική κατανομή του εδαφικού Cr εμφανίζει ομοιότητες με όλες τις μορφές του μετάλλου (Κεφ. 8ο, Σχήματα 8.56 & 8.58α-δ) και επιβεβαιώνει τη γεωγενή προέλευση του στοιχείου στα υπόγεια νερά.

Οι τιμές ολικού χρωμίου συγκρινόμενες με άλλες παρόμοιες περιοχές εμφανίζονται υψηλότερες από εκείνες της περιοχής του Πύργου Ηλείας (0 έως 0,014 mg/l) (*Καραπάνος* 2009), της περιοχής Ανατ. Κωπαΐδας-Υλίκης (0 έως 0,033) mg/l (*Τζιρίτης κ.ά.* 2008), της περιοχής του Ωρωπού (0,001 έως 0,034 mg/l) (*Γαμβρουλά* 2009) και της περιοχής του Κορωπίου (0,005 έως 0,058 mg/l) (*Pavlopoulos et al.* 2011). Αντίθετα, η διακύμανση ήταν ελαφρά χαμηλότερη σε σχέση με τα υπόγεια νερά της λεκάνης του άνω ρου του Ασωπού όπου οι τιμές κυμάνθηκαν από 0,004 έως 0,130 mg/l (*Τσαραμπάρης* 2010).



Σχήμα 9.79. Διάγραμμα Eh-pH (Pourbaix) με τις μορφές Cr για τα υπόγεια νερά των πηγών (●), υγρής (●) και ξηρής περιόδου (●) (*Hem* 1989).

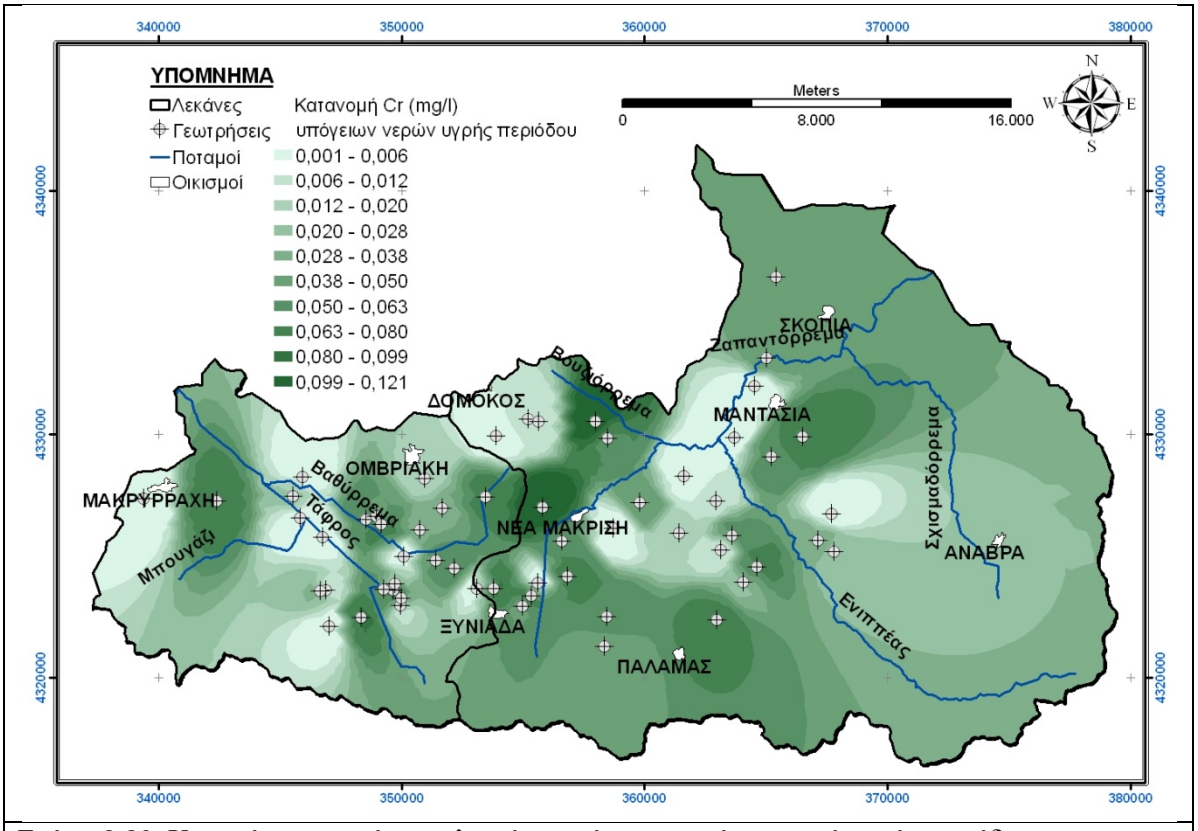
9.4 Υδροχημική ταξινόμηση

9.4.1 Γενικά

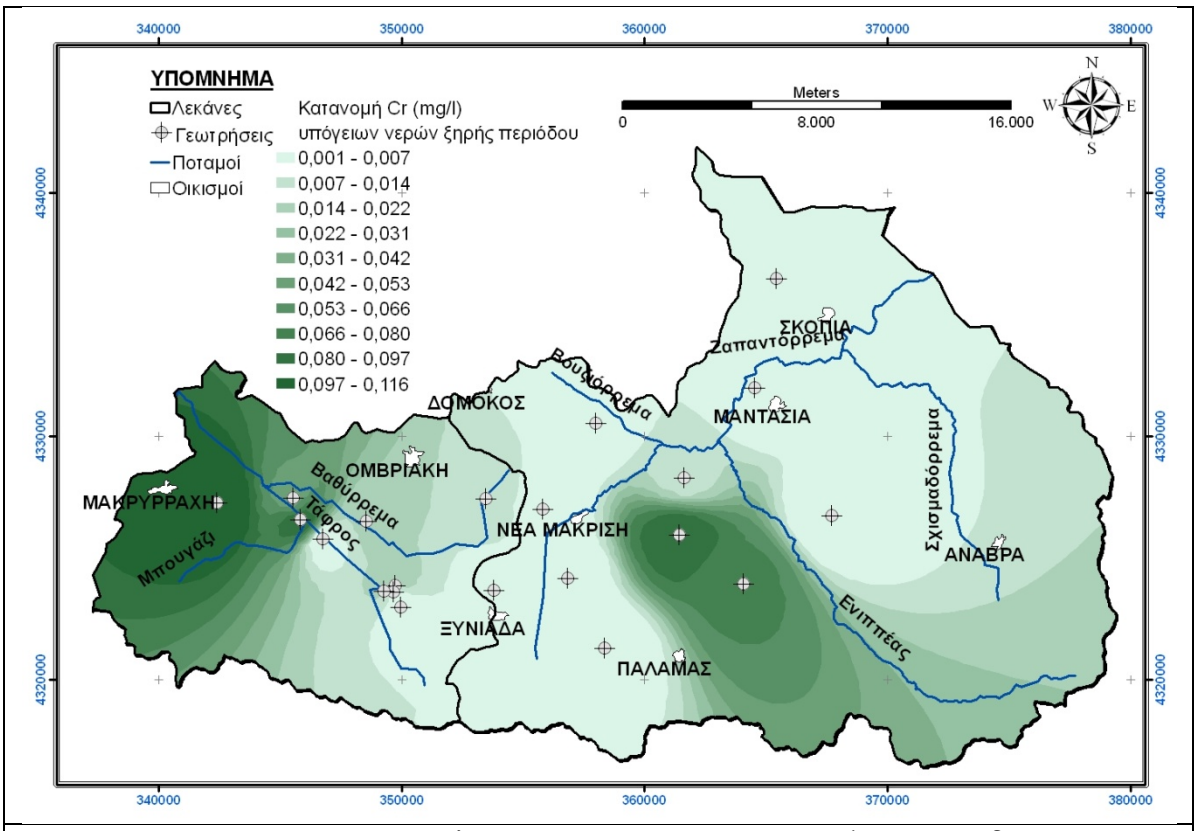
Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων χημικών αναλύσεων σε διαγράμματα στα οποία εκθέτονται οι σχέσεις μεταξύ των κατιόντων και μεταξύ των ανιόντων, προσφέρονται για συσχετισμούς και ερμηνεία και παρέχουν επιπλέον πληροφορίες για την γενική σύνθεση του νερού. Ο *Piper* (1944) πρότεινε τέτοιου είδους τριγωνικά διαγράμματα στα οποία μπορεί να ερμηνευθεί η ανάμιξη νερών διαφορετικής προέλευσης και σύνθεσης και να αναγνωριστεί η διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την κίνηση του νερού. Επιπλέον ο *Durov* (1948) δημιούργησε το ομώνυμο (διάγραμμα Durov), που πλεονεκτεί σε σχέση με το διάγραμμα του Piper, καθώς παρέχει μια καλύτερη εικόνα των διάφορων χημικών τύπων και των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στα υπόγεια νερά.

9.4.2 Ταξινόμηση κατά PIPER

Στα διαγράμματα *Piper* τα κατιόντα Ca^{2+}, Na^+ και Mg^{2+} εκφρασμένα επί τοις εκατό (%)



Σχήμα 9.80. Χωρική κατανομή του ολικού χρωμίου στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.

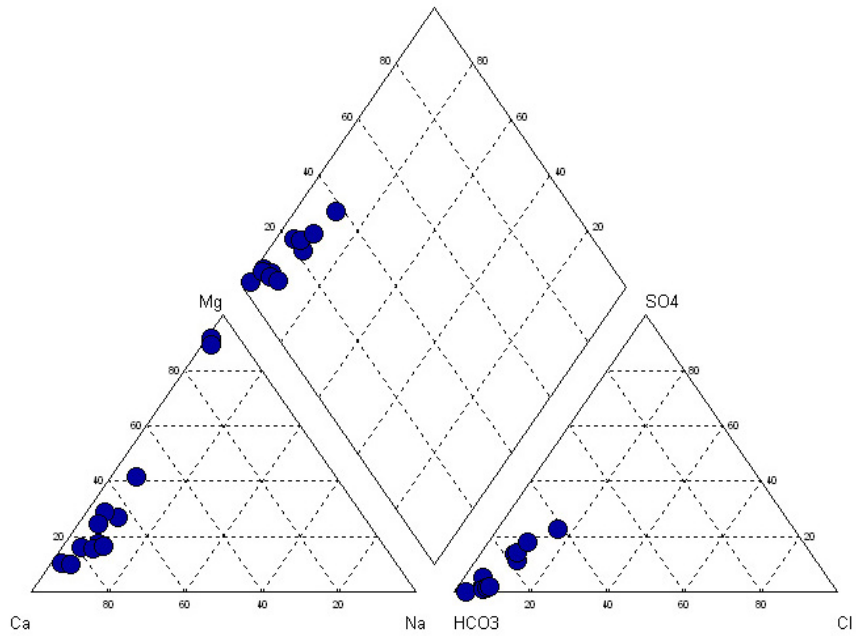


Σχήμα 9.81. Χωρική κατανομή του ολικού χρωμίου στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

του συνόλου των κατιόντων προβάλλονται σαν ένα σημείο στο αριστερό τρίγωνο. Τα ανιόντα Cl^-, HCO_3^- και SO_4^{2-} επίσης εκφρασμένα σε % του συνόλου των ανιόντων

εμφανίζονται σαν ένα σημείο στο δεξί τρίγωνο. Τα δύο αυτά σημεία (ένα σε κάθε τρίγωνο) προβάλλονται στη συνέχεια στον κεντρικό ρόμβο παράλληλα προς τις δύο πάνω πλευρές του. Το σημείο μέσα στο ρόμβο παρουσιάζει ένα ολικό σχήμα της ιοντικής κατανομής (*Καλλέργης* 2000, http://en.wikipedia.org).

Στα σχήματα 9.82-84 παρουσιάζεται η υδροχημική ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας με βάση τα διαγράμματα Piper, ενώ στον πίνακα 9.4 παρουσιάζονται οι κατά Piper υδροχημικοί τύποι. Διαπιστώνεται ότι τα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων υγρής περιόδου ταξινομούνται σε 3 βασικές κατηγορίες: α) φυσικών γαιοαλκαλικών νερών, β) γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και γ) αλκαλικών νερών.

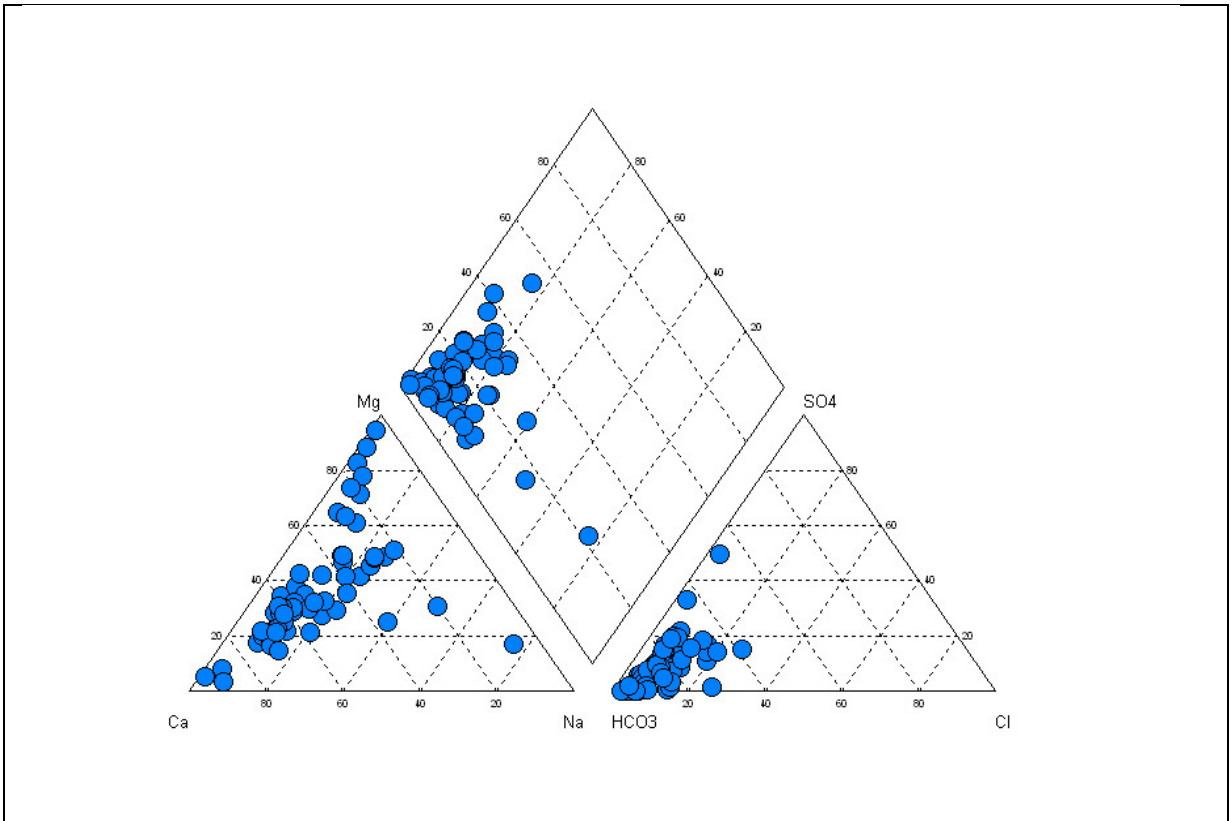


Σχήμα 9.82. Διάγραμμα Piper για τα δείγματα υπόγειων νερών των πηγών.

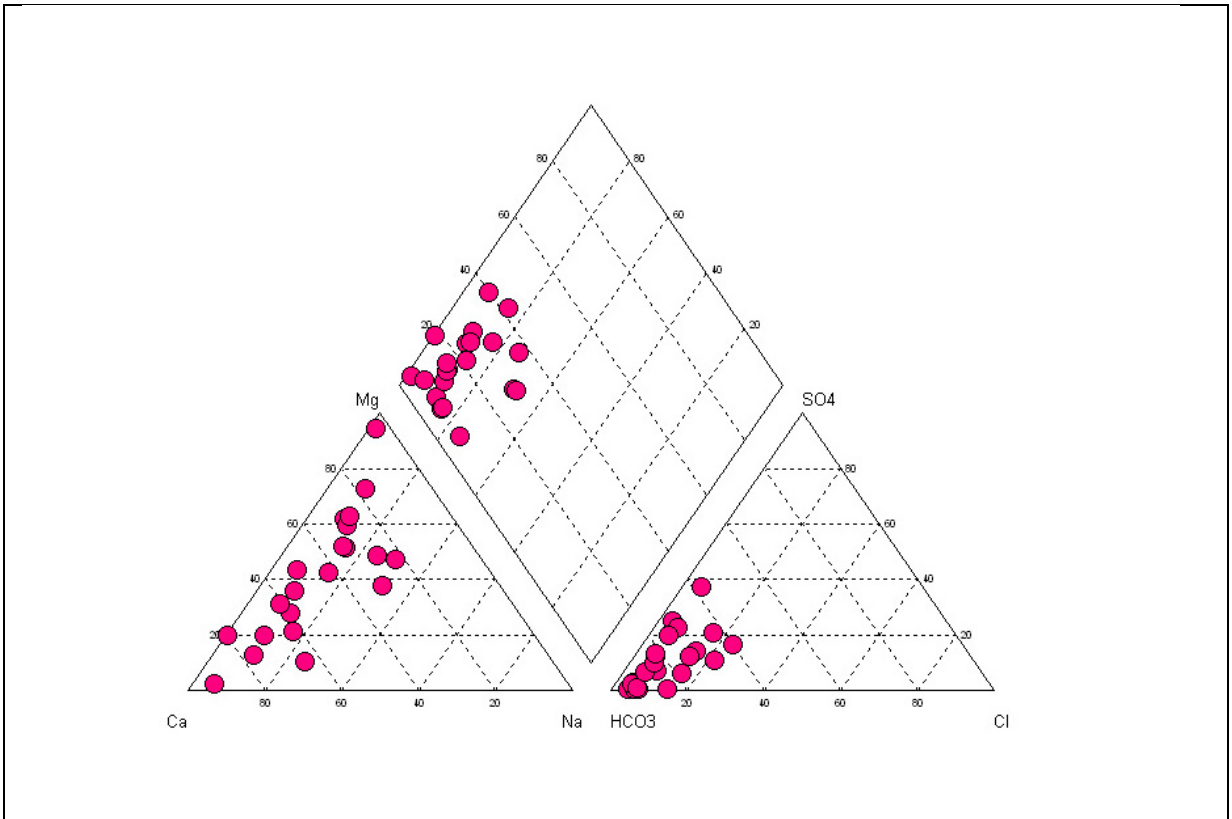
Η πρώτη κατηγορία των φυσικών γαιοαλκαλικών νερών περιλαμβάνει 75 δείγματα (ποσοστό 82%) από τα οποία τα 71 ανήκουν στην ομάδα των οξυανθρακικών και 4 στην ομάδα των οξυανθρακικών-θειικών. Στην πρώτη ομάδα εντάσσονται όλα τα δείγματα των πηγών, 44 δείγματα υγρής και 15 ξηρής περιόδου, ενώ στην δεύτερη ομάδα ανήκουν 2 δείγματα υγρής και δύο ξηρής περιόδου. Η επικράτηση των φυσικών γαιοαλκαλικών νερών, οξυανθρακικών, με επικρατέστερο τον γενικό υδροχημικό τύπο (Ca,Mg)-HCO_3, υποδεικνύει τον γρήγορο εμπλουτισμό και την ανανέωση των υπόγειων νερών και το μικρό χρόνο επαφής νερού και πετρωμάτων. Τα νερά αυτά εντοπίζονται στα περιθώρια και στο ανατολικό κεντρικό τμήμα της λεκάνης του οροπεδίου. Δέχονται την τροφοδοσία είτε επιφανειακών νερών είτε από τους παρακείμενους ασβεστολιθικούς και οφιολιθικούς σχηματισμούς και θεωρούνται φρέσκα και πιο νεώτερα σε σχέση με αυτά των άλλων κατηγοριών (*Appelo and Postma* 2005).

Στη δεύτερη κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων με γενικό υδροχημικό τύπο (Ca,Mg)-Na-HCO_3, περιλαμβάνονται 15 δείγματα (11 υγρής και 4 ξηρής περιόδου) (ποσοστό 16%). Στην τρίτη κατηγορία, αυτή των αλκαλικών νερών με υδροχημικό τύπο Na-(Mg,Ca)-HCO_3, περιλαμβάνονται δύο δείγματα υγρής περιόδου

(ποσοστό 2%). Τα νερά των κατηγοριών αυτών εντοπίζονται κύρια στο δυτικό κεντρικό τμήμα του οροπεδίου και έχουν σχέση με τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο



Σχήμα 9.83. Διάγραμμα Piper για τα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.84. Διάγραμμα Piper για τα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

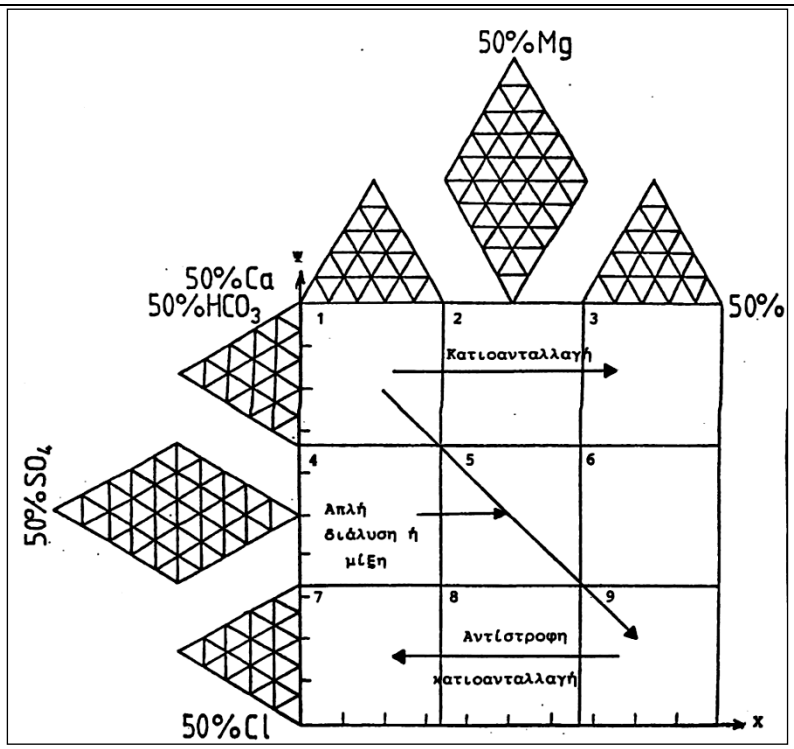
Πίνακας 9.4. Υδροχημικοί τύποι υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας (Π: Πηγές, α: Γεωτρήσεις υγρής περιόδου, β: Γεωτρήσεις ξηρής περίοδου).

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ PIPER
Π6,Π8,Π9,Π10,Π11,Π12 Γ5(α),Γ11(α),Γ12(α),Γ48(α),Γ51(α),Γ52(α),Γ54(α),Γ57(α) Γ11(β),Γ45(β),Γ53(β),Γ57(β)	Ca-HCO_3	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Π1,Π2,Π5,Π7 Γ4(α),Γ6(α),Γ24(α),Γ25(α),Γ30(α),Γ31(α), Γ32(α),Γ35(α), Γ36(α),Γ38(α),Γ41(α),Γ42(α),Γ43(α),Γ44(α), Γ45(α), Γ46(α),Γ47(α),Γ49(α),Γ50(α),Γ53(α),Γ56(α),Γ58(α) Γ30(β),Γ36(β),Γ43(β),Γ49(β)	Ca-Mg-HCO_3	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Γ55(α)	Ca-Mg-HCO_3-NO_3	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Π3,Π4 Γ1(α),Γ2(α),Γ7(α),Γ14(α),Γ16(α) Γ7(β),Γ26(β)	Mg-HCO_3	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Γ3(α),Γ9(α),Γ20(α),Γ21(α),Γ22(α),Γ26(α),Γ34(α) Γ9(β),Γ20(β),Γ21(β),Γ34(β)	Mg-Ca-HCO_3	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Γ8(α),Γ8(β)	Mg-Ca-HCO_3-SO_4	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά-θειικά
Γ37(α) Γ37(β)	Ca-Mg-HCO3-Cl	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά
Γ18(α), Γ18(β)	Mg-Ca-SO_4-HCO_3	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά, οξυανθρακικά-θειικά
Γ59(β)	Ca-Na-HCO_3	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ13(α),Γ33(α),Γ39(α),Γ59(α)	Ca-Mg-Na-HCO_3	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ17(α),Γ19(α),Γ27(α),Γ40(α), Γ22(β)	Mg-Ca-Na- HCO_3	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ10(α),Γ15(α), Γ40(β)	Mg-Na-Ca-HCO_3	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ10(β)	Mg-Na-Ca-HCO_3-SO_4	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ28(α)	Na-Ca-Mg-HCO3-Cl	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικά
Γ29(α)	Na-HCO_3	Αλκαλικά νερά οξυανθρακικά
Γ23(α)	Na-Mg-Ca-HCO_3	Αλκαλικά νερά οξυανθρακικά

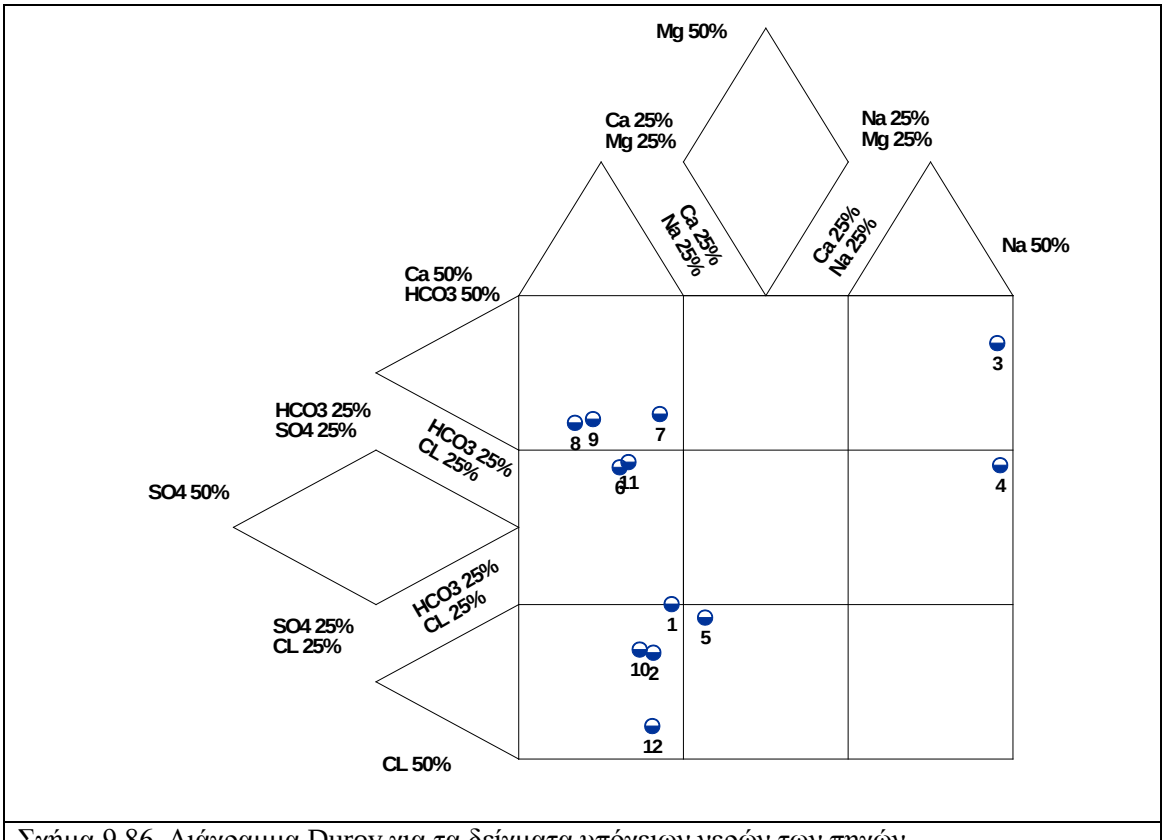
πρώην λιμναίο περιβάλλον της περιοχής.

9.4.3 Ταξινόμηση κατά DUROV

Το διευρυμένο ή διαστελλόμενο διάγραμμα Durov παρουσιάζει 9 πεδία που μας διευκολύνουν να κατανοήσουμε καλύτερα τα διάφορα φαινόμενα κατιοανταλλαγής και τις διαδικασίες μετασωματικών γραμμών εξέλιξης (*Durov* 1948, *Lloyd and Heathcote* 1985). Το διάγραμμα αποτελείται από δύο τρίγωνα βάσης, ένα για τα ανιόντα και ένα για τα κατιόντα, στο καθένα από τα οποία προβάλλεται η συγκέντρωση των σημαντικότερων ιόντων εκφρασμένη σε meq/l (Σχήμα 9.85). Στο διάγραμμα γίνονται προβολές του 50% της



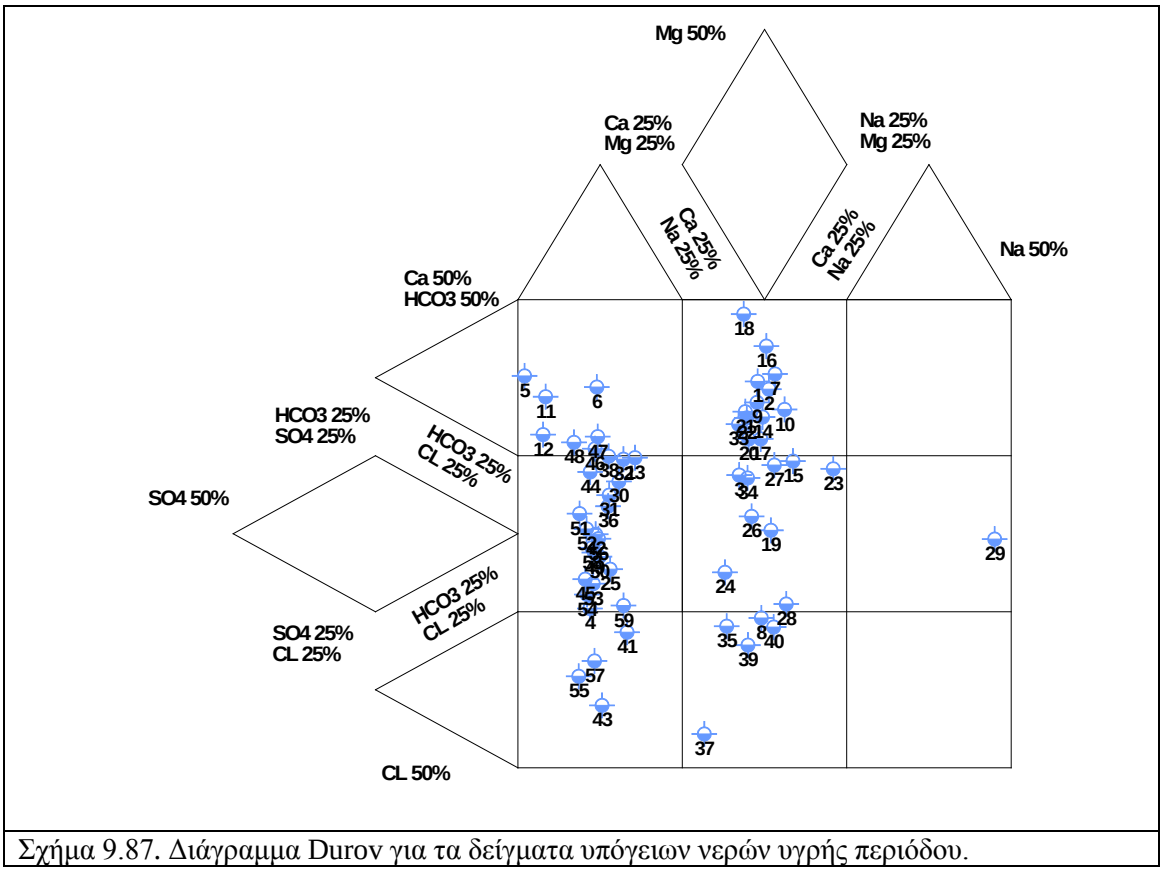
Σχήμα 9.85. Το διευρυμένο ή διαστελλόμενο διάγραμμα Durov.



Σχήμα 9.86. Διάγραμμα Durov για τα δείγματα υπόγειων νερών των πηγών.

συγκέντρωσης των ιόντων. Το καθένα από τα δύο τρίγωνα χωρίζονται έτσι ώστε να δημιουργηθούν δύο μικρότερα τρίγωνα και ένας ρόμβος, οπότε στο τελικό διάγραμμα δημιουργούνται εννέα πεδία. Ο κύριος σκοπός του διαγράμματος Durov είναι να ομαδοποιήσει τα δεδομένα ώστε να δείξει ποιά από τα δείγματα έχουν παρόμοιες συνθέσεις

(http://www.scientific-solutions.ch). Εκείνο που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι οι ομάδες 1-3 συνδέονται με διαδικασίες ανταλλαγής κατιόντων, οι ομάδες 4-6 σχετίζονται με νερά μίξης (ακόρεστα και επηρεασμένα από τη θάλασσα) και τέλος οι ομάδες 7-9 αντιστοιχούν σε διαδικασίες αντίστροφης κατιοανταλλαγής.



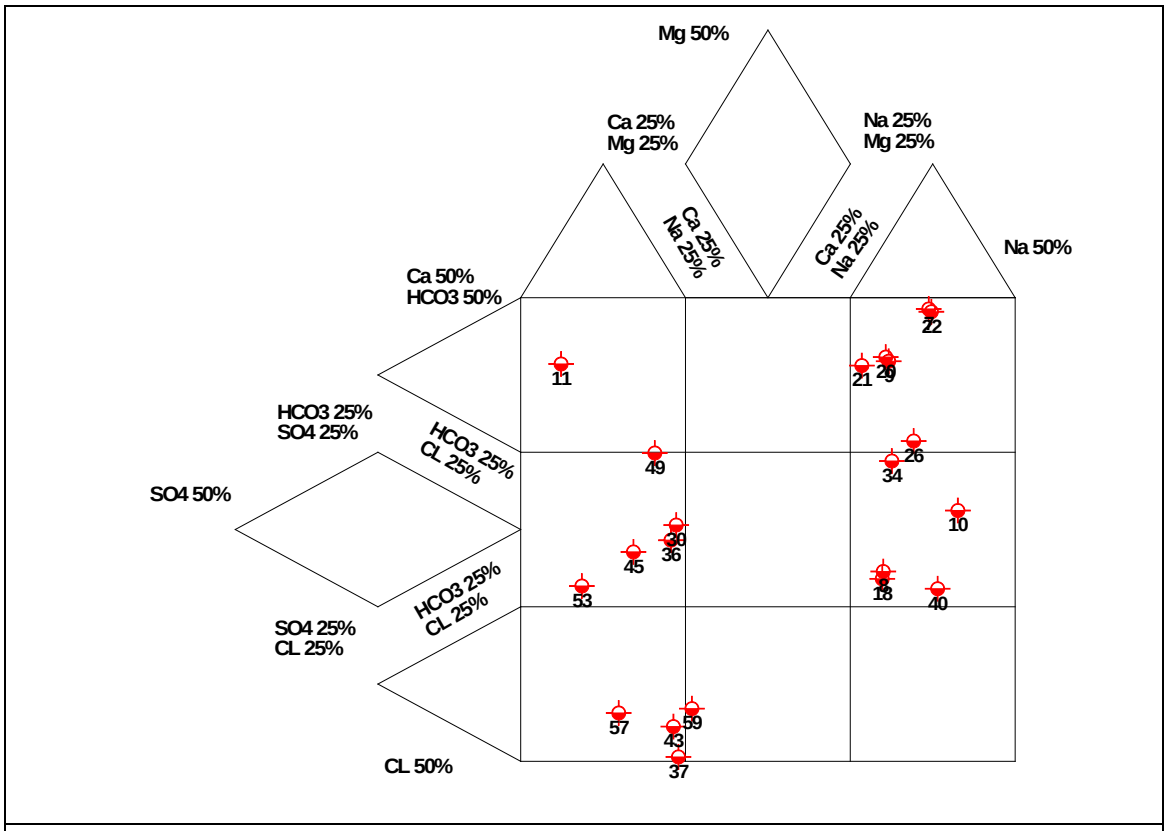
Σχήμα 9.87. Διάγραμμα Durov για τα δείγματα υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

Στα σχήματα 9.86-88 παρουσιάζεται η υδροχημική ταξινόμηση των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας με βάση τα διαγράμματα Durov και στα σχήματα 9.89 και 9.90 εμφανίζεται η χωρική κατανομή των πεδίων Durov για τις δύο περιόδους. Διαπιστώνονται με βάση τον υδροχημικό τους τύπο οι ακόλουθες ομάδες (πεδία) υπόγειων νερών που αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας:

1. *Ca-HCO_3* (πεδίο 1). Στην ομάδα αυτή ανήκουν συνολικά 15 δείγματα (ποσοστό 16%) από τα οποία τρία είναι πηγών, 10 υγρής και δύο ξηρής περιόδου. Τα νερά αυτά με χημικό τύπο Ca-HCO_3 είναι φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης, τα οποία κατά την κατείσδυσή τους εντός της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης διαλύουν κυρίως τα ευδιάλυτα ορυκτά του ασβεστίτη και εμπλουτίζονται στα αντίστοιχα στοιχεία. Οι πηγές Π7, Π8 και Π9, οι γεωτρήσεις Γ5, Γ11, Γ12, Γ13, Γ47 και Γ48 των οποίων τα κατεισδύοντα νερά διέρχονται μέσω σχηματισμών που είναι πλούσιοι σε ανθρακικά ορυκτά, όπως ασβεστόλιθοι, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και ασβεστιτικοί ψαμμίτες.
2. *Mg-HCO_3* (πεδίο 2). Στην ομάδα αυτή εντάσσονται 13 δείγματα της υγρής περιόδου (ποσοστό 14%) στα οποία κυριαρχεί η ρίζα HCO_3^- και το Mg^{2+} με υδροχημικό τύπο Mg-HCO_3. Πρόκειται για νερά τα οποία κατά την κατείσδυσή τους διέρχονται από πετρώματα πλούσια σε Mg^{2+} και υφίστανται τις διεργασίες της κατιοανταλλαγής και μετατρέπονται από Ca-HCO_3 σε Mg-HCO_3.
3. *Na-HCO_3* (πεδίο 3. Στο πεδίο αυτό ανήκουν 7 δείγματα (ποσοστό 8%) από τα οποία τα 6 είναι δείγματα γεωτρήσεων ξηρής περιόδου και ένα είναι πηγής. Τα νερά αυτά

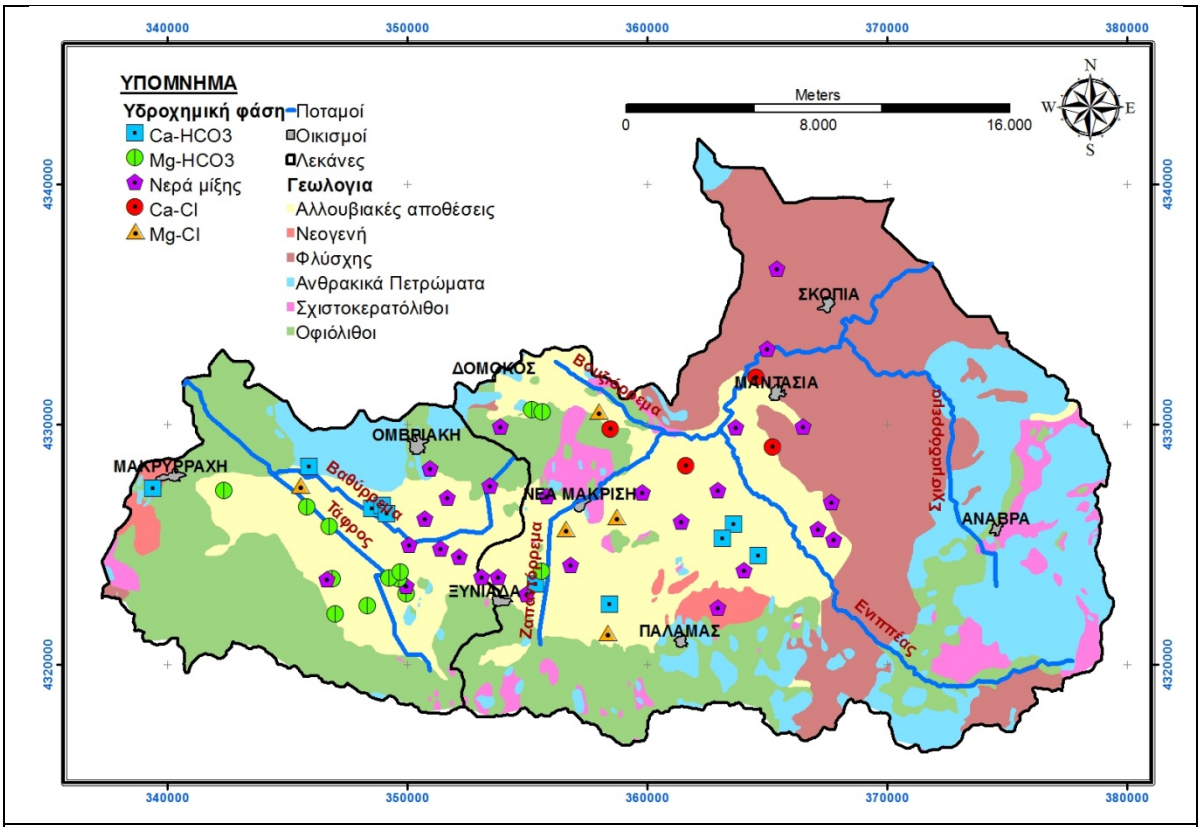
με υδροχημικό τύπο Na-HCO_3 βρίσκονται στο τελευταίο στάδιο εξέλιξης του φαινομένου της κατιοανταλλαγής. Βασικοί παράγοντες στην εξέλιξη της διαδικασίας αυτής είναι οι πλούσιες σε νατριούχα ορυκτά ηφαιστειακές λάβες και τα υπολειμματικά άλατα εβαποριτικής προελεύσεως που περιέχουν μεταξύ άλλων HCO_3^- και Na^+ και έχουν προέλθει από εξάτμιση στα περιθώρια της τέως λίμνης στη πορεία της παλαιοεξέλιξής της. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα των περιπτώσεων αυτών αποτελούν η πηγή Π3 και οι γεωτρήσεις Γ7, Γ9, Γ20, Γ21, Γ22 και Γ26.

4. *Μικτά νερά* (πεδίο 4). Στην ομάδα αυτή ανήκει η πλειοψηφία των δειγμάτων (ποσοστό 25%) με συνολικά 23 δείγματα. Δύο δείγματα είναι πηγών, 17 υγρής και 4 ξηρής περιόδου. Στα νερά αυτά κυριαρχεί το Ca^{2+} και κανένα ανιόν και αφορά μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.
5. *Μικτά νερά* (πεδίο 5). Στο πεδίο 5 περιλαμβάνονται 9 δείγματα (ποσοστό 9%) υγρής περιόδου και πρόκειται για μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης στα οποία δεν υπάρχει κυρίαρχο ιόν.
6. *Μικτά νερά* (πεδίο 6). Στην ομάδα αυτή ανήκουν 7 δείγματα (ποσοστό 8%), από τα οποία ένα είναι δείγμα πηγών, ένα είναι δείγμα υγρής και 5 είναι δείγματα ξηρής περιόδου. Στο πεδίο αυτό κυριαρχεί το Na^+ όπως στην γεώτρηση Γ29 της υγρής περιόδου, είτε είναι υπόγειο νερό που δεν συναντάται πολύ συχνά και είναι τις περισσότερες φορές προϊόν μίξης.
7. *Ca-Cl* (πεδίο 7). Στο πεδίο αυτό εντάσσονται 11 δείγματα (ποσοστό 12%). Από αυτά τα 4 είναι δείγματα πηγών, 4 υγρής και τρία ξηρής περιόδου. Τα νερά αυτά με υδροχημικό τύπο Ca-Cl θεωρούνται σπάνια, κυριαρχούν τα ιόντα Ca^{2+} και $C1^-$ υποδηλώνοντας ότι είναι επιβαρυμένα από ρυπογόνο ανθρώπινη δραστηριότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι πηγές Π10 στην Μαντασιά, Π12 «Πλατάνα» στην Σκοπιά και οι γεωτρήσεις Γ57 και Γ43 και για τις δυο περιόδους.
8. *Mg-Cl* (πεδίο 8). Στην ομάδα αυτή ανήκουν 7 δείγματα (ποσοστό 8%). Από αυτά ένα

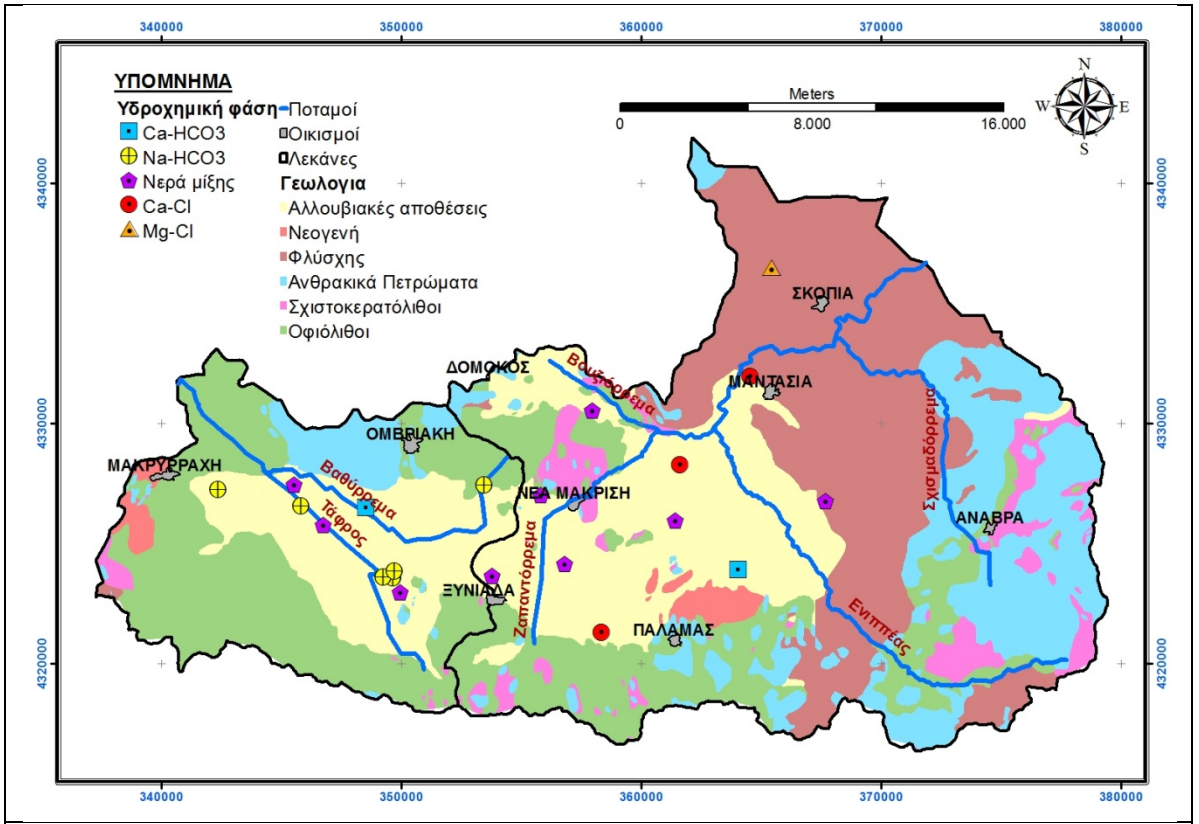


Σχήμα 9.88. Διάγραμμα Durov για τα δείγματα υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

είναι δείγμα πηγής, 5 υγρής και ένα ξηρής περιόδου. Στα νερά αυτά με υδροχημικό τύπο Mg-Cl κυριαρχούν το Cl^- και το Mg^{2+} και το φαινόμενο της αντίστροφης



Σχήμα 9.89. Χωρική κατανομή των πεδίων Durov στα υπόγεια νερά υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.90. Χωρική κατανομή των πεδίων Durov στα υπόγεια νερά ξηρής περιόδου.

κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Αφορούν νερά με υψηλό ρυπαντικό φορτίο όπως η πηγή Π5 στον οικισμό της Ξυνιάδας.

Συμπερασματικά διαπιστώνεται ότι από το σύνολο των υπόγειων νερών ποσοστό 42% είναι μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης (πεδία 4-6), με ακαθόριστο υδροχημικό τύπο. Ποσοστό 38% είναι νερά κατιοανταλλαγής (πεδία 1-3) με την υδροχημική εξέλιξη να καθορίζεται από τις φάσεις: Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3 και ποσοστό 20% είναι νερά αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Στα νερά αυτής της κατηγορίας η υδροχημική εξέλιξη καθορίζεται από τις ακόλουθες φάσεις: Ca-Cl, Mg-Cl.

9.5 Προέλευση στοιχείων

9.5.1 Γενικά

Η χημική σύσταση των υπόγειων νερών καθορίζεται από τη φύση των γεωλογικών σχηματισμών στα οποία φιλοξενείται και δια μέσου των οποίων κινείται, από τη διείσδυση της θάλασσας και από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ισορροπία των διαφόρων ιόντων μέσα στα νερά εκφράζεται με τους ιοντικούς λόγους και είναι δηλωτική της κατάστασης και της πορείας του (*Σούλιος* 2006). Κατά συνέπεια οι ιοντικοί λόγοι των στοιχείων (meq/l) δίνουν χρήσιμες πληροφορίες και οδηγούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την προέλευση του νερού, τη διαδρομή που ακολουθεί και τις γεωχημικές διεργασίες που υφίσταται. Επιπλέον οι δείκτες κορεσμού παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που συμβάλλουν στον κορεσμό ή όχι του νερού σε κάποιο πέτρωμα ή ορυκτό.

9.5.2 Ιοντικοί λόγοι

Οι ιοντικοί λόγοι είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την προέλευση των στοιχείων από συγκεκριμένα πετρώματα ή από διείσδυση της θάλασσας. Στην περιοχή έρευνας δεν απαντώνται υδροχημικές διαδικασίες που έχουν σχέση με διείσδυση θαλασσινού νερού και για αυτό δεν υπολογίστηκαν ιοντικοί λόγοι που έχουν σχέση με αυτό το φαινόμενο. Εκτιμήθηκε για αυτό το λόγο, η ποιότητα των υπόγειων υδάτων με βάση τους λόγους (Mg:Ca) και (Ca+Mg):(Na+K) που παρουσιάζονται πιο κάτω.

9.5.2.1 Ιοντικός λόγος (Mg:Ca)

Ο λόγος (Mg:Ca) (meq/l) χρησιμοποιείται για να δώσει πληροφορίες για την προέλευση του νερού. Όταν οι τιμές του λόγου κινούνται <0,5-0,7 τότε το νερό προέρχεται από υδροφορείς ασβεστολιθικών πετρωμάτων ή αντίστοιχα μεταμορφωμένα, ενώ σε τιμές 0,7-0,9 το νερό προέρχεται από δολομιτικά ή αντίστοιχα μεταμορφωμένα υδροφόρα στρώματα. Όταν οι τιμές του λόγου είναι >0,9 η προέλευση του νερού είναι από υδροφορείς οφιολιθικών ή γενικά πυριτικών πετρωμάτων πλούσιων σε Mg, αν και στα οφιολιθικά οι τιμές είναι συνήθως μεγαλύτερες από 1 (*Καλλέργης* 2001, *Σούλιος* 2006, *Βουδούρης* 2009).

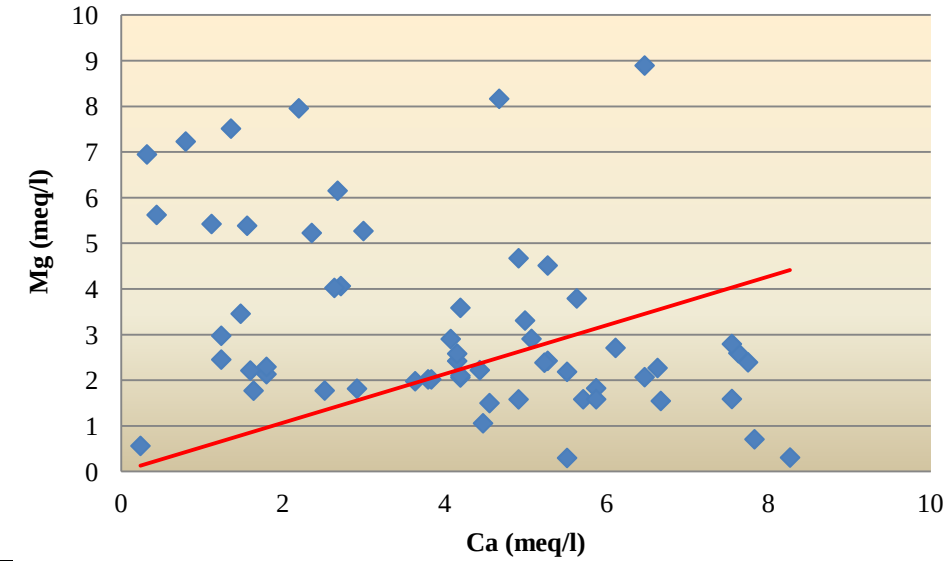
Η διακύμανση των τιμών του λόγου (Mg:Ca) στα υπόγεια νερά της περιοχή έρευνας είναι (Πίνακας 9.5):

- Στις πηγές από 0,1 έως 12,7, με 9 από τα νερά να προέρχονται από πετρώματα ασβεστόλιθων και τρία από υδροφορείς πλούσιους σε μαγνήσιο.
- Στην υγρή περίοδο για το σύνολο των νερών η διακύμανση είναι από 0,0 έως 21,8. Ποσοστό 54% των νερών προέρχονται από υδροφορείς πλούσιους σε ασβεστιτικά ορυκτά και 45% από υδροφορείς πλούσιους σε μαγνησιούχα ορυκτά.
- Στην ξηρή περίοδο οι τιμές του λόγου (Mg:Ca) κυμαίνονται για το σύνολο των νερών από 0,0 έως 24,9. Από τις τιμές του λόγου διαπιστώνεται ότι ποσοστό 43% των νερών προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα και 57% από νερά πλούσια σε μαγνησιούχα ορυκτά.

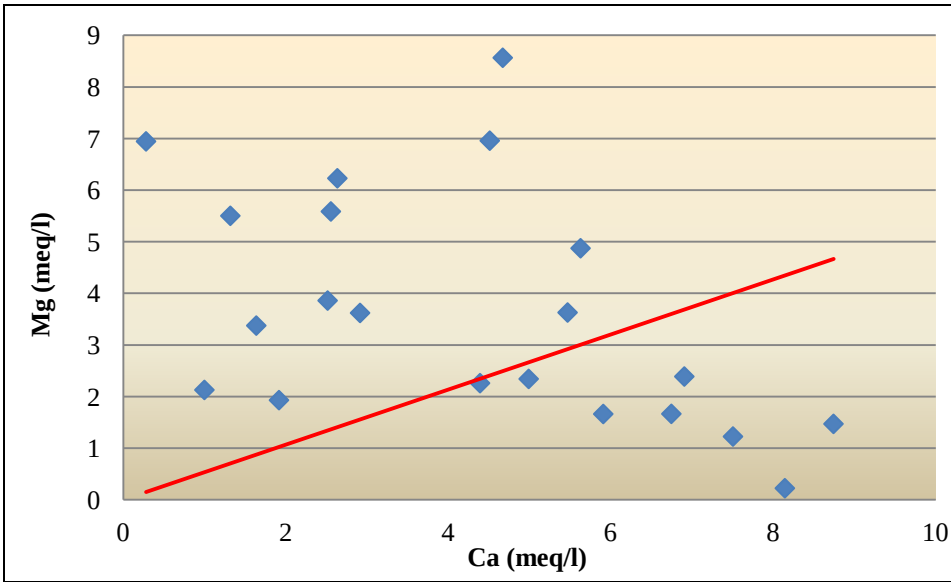
Από την ομάδα των πηγών οι Π6, Π7 και Π8 αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα νερών που προέρχονται από ασβεστικούς σχιστόλιθους. Έχουν χαμηλή συγκέντρωση SO_4^{2-}

Πίνακας 9.5. Οι ιοντικοί λόγοι που εμφανίζουν τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.

Δείγμα	Mg : Ca	(Ca+Mg) : (Na+K)	Δείγμα	Mg : Ca	(Ca+Mg) : (Na+K)	Δείγμα	Mg : Ca	(Ca+Mg) : (Na+K)	Δείγμα	Mg : Ca	(Ca+Mg) : (Na+K)
Υγρή περίοδος			**Υγρή περίοδος**			**Υγρή περίοδος**			**Ξηρή περίοδος**		
Γ1	5,53	42,87	**Γ26**	3,46	18,11	**Γ51**	0,28	9,61	**Γ43**	0,35	4,92
Γ2	12,80	137,95	**Γ27**	1,75	3,14	**Γ52**	0,27	7,45	**Γ45**	0,28	8,85
Γ3	2,22	15,21	**Γ28**	0,71	1,57	**Γ53**	0,34	7,47	**Γ49**	0,52	10,66
Γ4	0,44	11,09	**Γ29**	2,35	0,32	**Γ54**	0,23	6,59	**Γ53**	0,25	181,44
Γ5	0,05	64,88	**Γ30**	0,66	6,83	**Γ55**	0,31	11,17	**Γ57**	0,17	8,10
Γ6	0,58	13,49	**Γ31**	0,57	7,85	**Γ56**	0,46	8,54	**Γ59**	0,16	2,88
Γ7	21,76	75,98	**Γ32**	0,54	4,97	**Γ57**	0,21	5,20	**Πηγές**		
Γ8	3,62	10,08	**Γ33**	0,62	3,22	**Γ58**	0,32	7,35	**Π1**	0,42	9,9
Γ9	2,34	6,69	**Γ34**	2,30	9,85	**Γ59**	0,37	3,82	**Π2**	0,43	17,1
Γ10	1,98	2,73	**Γ35**	0,67	4,35	**Ξηρή περίοδος**			**Π3**	12,74	103,3
Γ11	0,09	15,76	**Γ36**	0,49	6,81	**Γ07**	24,86	60,03	**Π4**	10,54	32,0
Γ12	0,04	12,32	**Γ37**	0,86	12,30	**Γ08**	2,19	9,27	**Π5**	0,80	13,3
Γ13	0,53	3,79	**Γ38**	0,53	7,22	**Γ09**	2,06	7,40	**Π6**	0,20	13,5
Γ14	4,85	15,42	**Γ39**	0,86	3,30	**Γ10**	2,14	2,24	**Π7**	0,35	10,1
Γ15	2,40	2,57	**Γ40**	1,76	3,20	**Γ11**	0,03	16,76	**Π8**	0,12	35,4
Γ16	9,06	51,80	**Γ41**	0,62	5,09	**Γ18**	1,83	2,91	**Π9**	0,12	16,2
Γ17	1,19	3,20	**Γ42**	0,46	9,56	**Γ20**	1,54	5,44	**Π10**	0,24	10,1
Γ18	1,38	5,55	**Γ43**	0,34	5,82	**Γ21**	1,01	5,46	**Π11**	0,21	11,2
Γ19	1,50	3,04	**Γ44**	0,32	7,74	**Γ22**	1,54	5,78	**Π12**	0,22	7,6
Γ20	1,28	4,49	**Γ45**	0,31	8,82	**Γ26**	0,66	9,07			
Γ21	1,39	5,34	**Γ46**	0,33	6,86	**Γ30**	4,18	9,00			
Γ22	1,08	4,05	**Γ47**	0,50	9,97	**Γ34**	2,37	8,02			
Γ23	1,53	1,03	**Γ48**	0,24	10,12	**Γ36**	0,47	6,61			
Γ24	0,95	6,42	**Γ49**	0,50	11,45	**Γ37**	0,87	13,86			
Γ25	0,71	10,40	**Γ50**	0,40	7,12	**Γ40**	1,24	2,12			



Σχήμα 9.91. Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Mg:Ca) για τα νερά υγρής περιόδου.



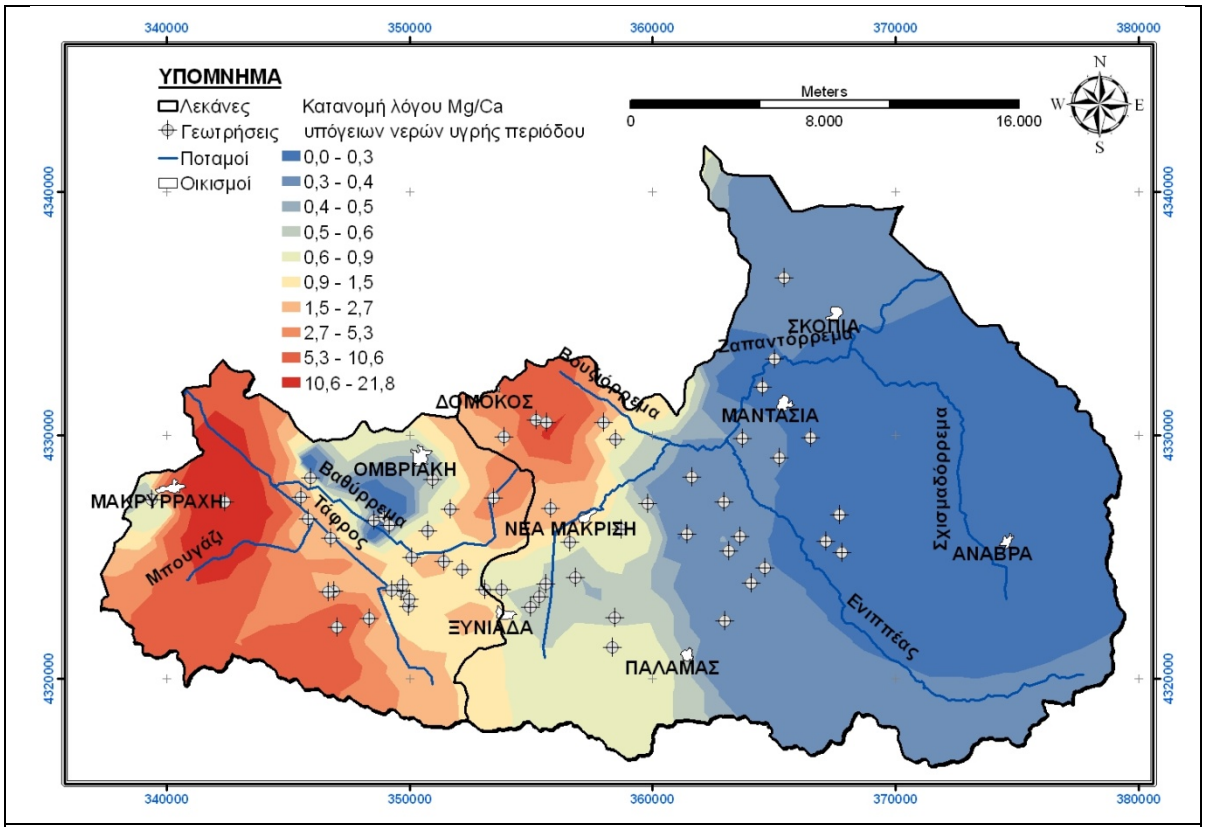
Σχήμα 9.92. Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Mg:Ca) για τα νερά ξηρής περιόδου.

και χαμηλή Ε.C. και σε αυτή την περίπτωση τα νερά αυτά είναι ελαφρώς υπερκορεσμένα σε σχέση με τον ασβεστίτη (*Καλλέργης* 2000). Στα σχήματα 9.91 και 9.92 παρουσιάζονται τα διαγράμματα της διασποράς του ιοντικού λόγου (Mg:Ca) για τις δύο περιόδους. Για την υγρή περίοδο διαπιστώνεται μικρή διασπορά των τιμών κάτω από τη γραμμή τάσης, ενώ τη ξηρή περίοδο η διασπορά είναι μικρότερη πάνω από τη γραμμή. Οι διαπιστώσεις ενισχύουν τα προηγούμενα συμπεράσματα.

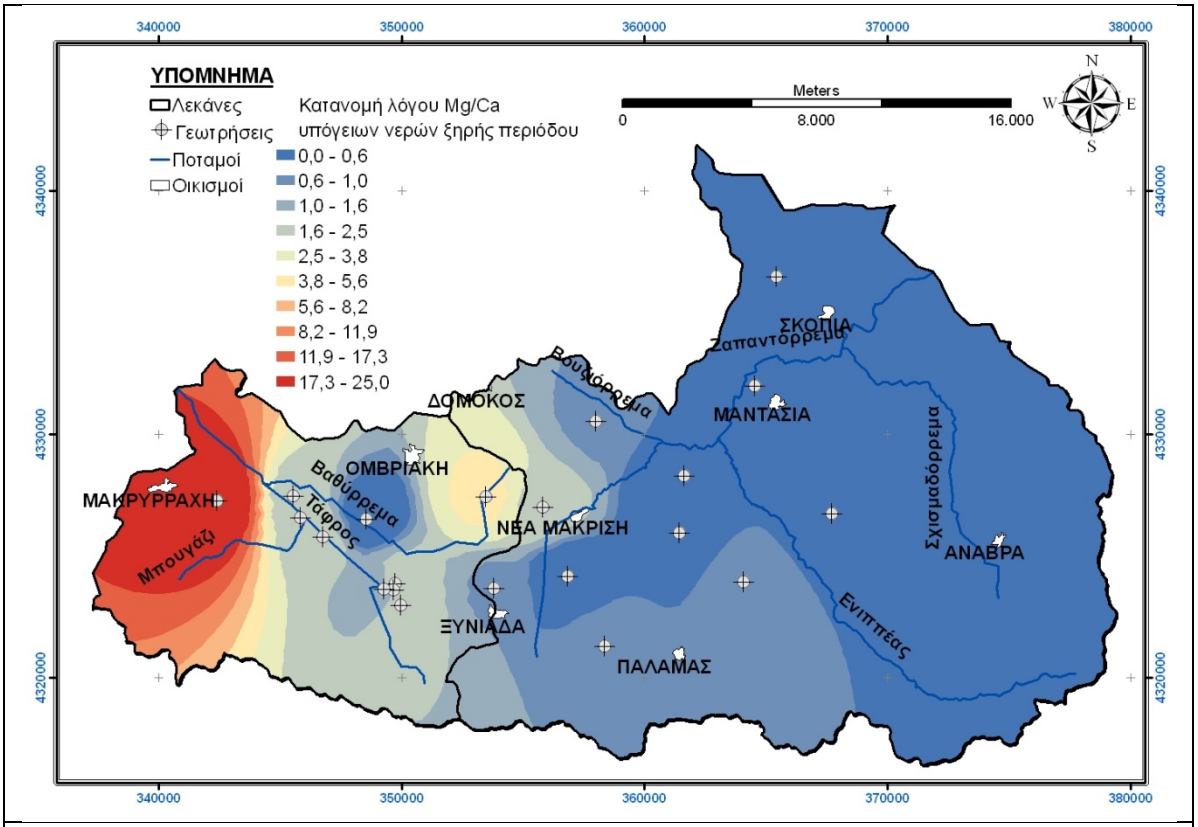
Με βάση τις τιμές του λόγου (Mg:Ca) δημιουργήθηκαν χάρτες χωρικής κατανομής που παρουσιάζονται στα σχήματα 9.93 και 9.94. Διαπιστώνεται και για τις δύο περιόδους όπως αναμενόταν, ότι οι μικρότερες τιμές του λόγου εντοπίζονται στο ανατολικό μισό του οροπεδίου όπου κυριαρχούν οι ανθρακικές μάζες και οι μεγαλύτερες τιμές στο δυτικό και βόρειο τμήμα όπου δεσπόζουν τα οφιολιθικά πετρώματα.

9.5.2.2 Ιοντικός λόγος (Ca+Mg):(Na+K)

Ο ιοντικός λόγος (Ca+Mg):(Na+K) σχετίζεται με την τροφοδοσία του υπόγειου νερού δίνοντας πληροφορίες που γίνεται εμπλουτισμός του. Όταν οι τιμές του λόγου είναι >1 τότε



Σχήμα 9.93. Χωρική κατανομή του λόγου (Mg:Ca) υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

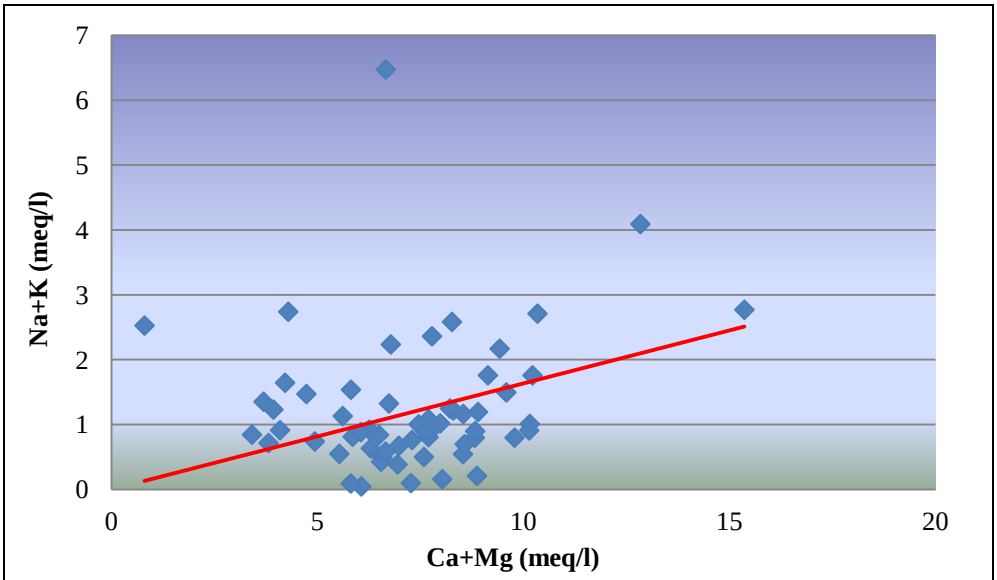


Σχήμα 9.94. Χωρική κατανομή του λόγου (Mg:Ca) υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

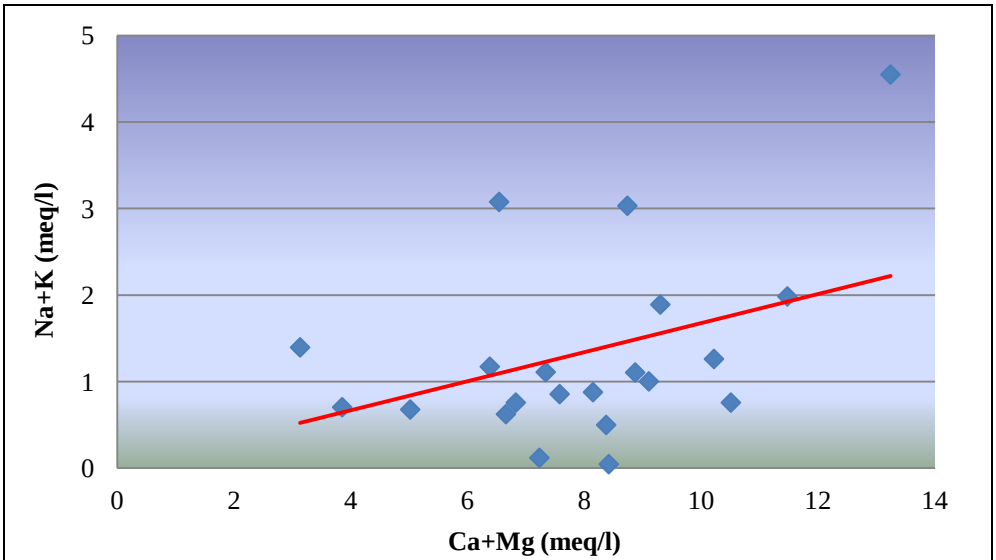
πρόκειται για υδροφόρο στρώμα με συνεχή τροφοδοσία και όταν είναι <1 τότε πρόκειται για παλιό νερό στα κατάντη τμήματα του υδροφορέα ως προς την διεύθυνση της ροής (*Καλλέργης* 2001, *Σούλιος* 2006).

Η διακύμανση των τιμών του λόγου (Ca+Mg):(Na+K) στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι (Πίνακας 9.5):

- Στις πηγές από 7,6 έως 103,3 δείχνοντας ότι τα νερά των υδροφόρων τους δέχονται συνεχή τροφοδοσία καθώς κανένα από τα δείγματα δεν έχει τιμές <1.
- Στην υγρή περίοδο για το σύνολο των δειγμάτων η διακύμανση είναι από 0,3 έως 138,0, δείχνοντας ότι η συντριπτική πλειοψηφία των υδροφορέων δέχεται συνεχή εμπλουτισμό.
- Στην ξηρή περίοδο οι τιμές του λόγου κυμαίνονται για το σύνολο των δειγμάτων από 2,1 έως 181,4 αποδεικνύοντας τη μη ύπαρξη παλιού νερού και τη συνεχή τροφοδοσία των υδροφόρων τους.

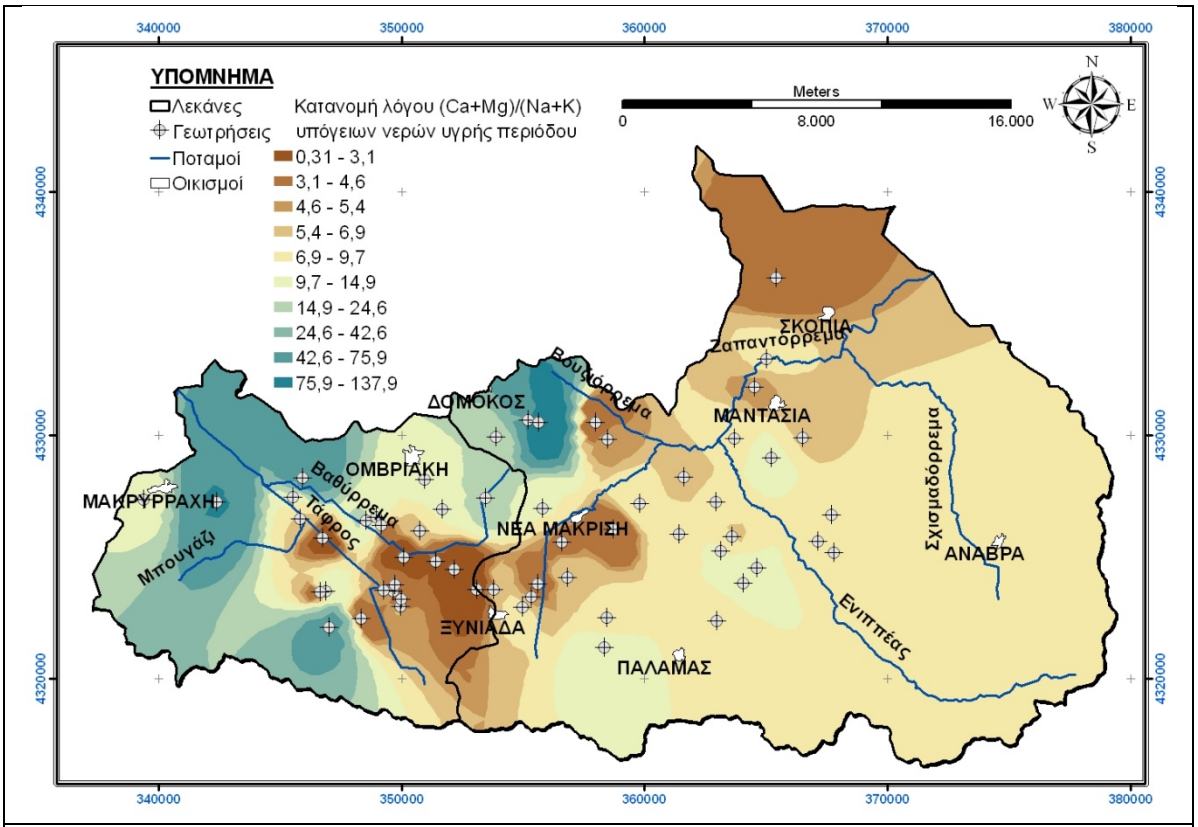


Σχήμα 9.95. Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Ca+Mg):(Na+K) για τα νερά υγρής περιόδου.

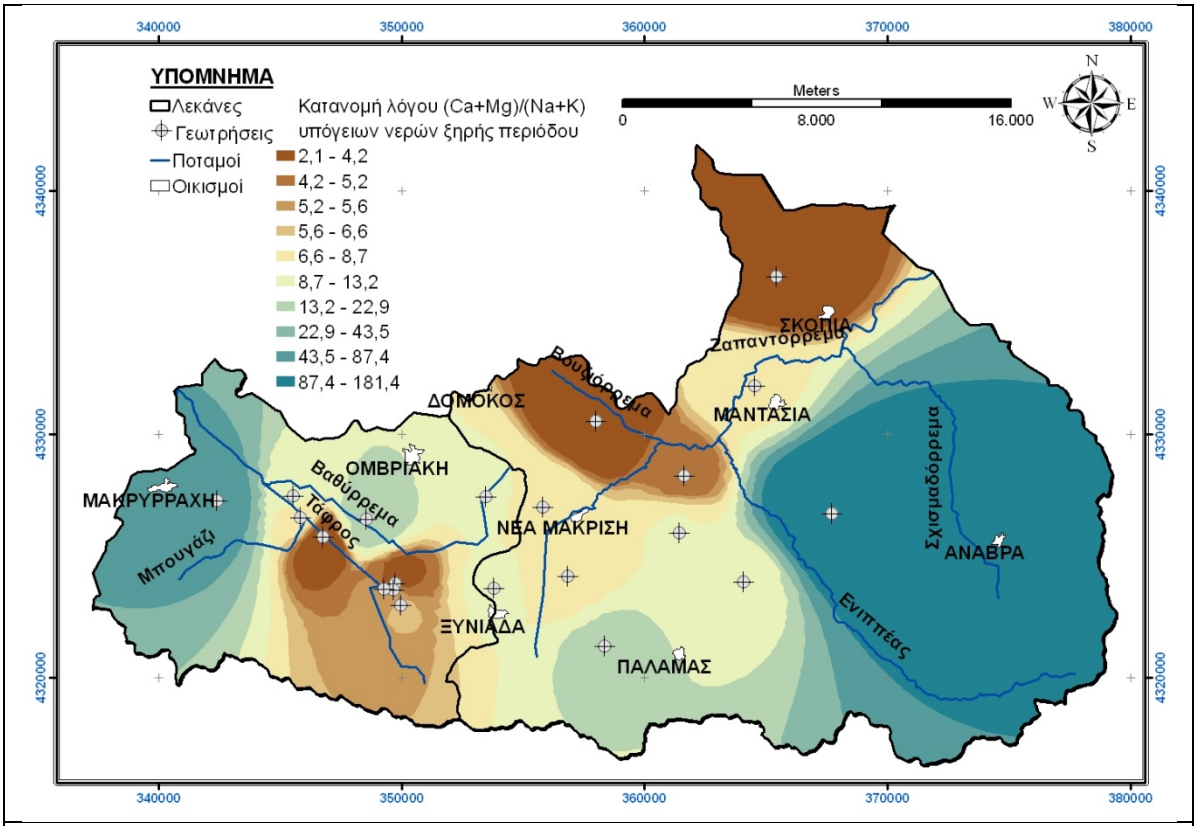


Σχήμα 9.96. Διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης (Ca+Mg):(Na+K) για τα νερά ξηρής περιόδου.

Στα σχήματα 9.95 και 9.96 παρουσιάζονται για τις δύο περιόδους τα διαγράμματα της διασποράς του ιοντικού λόγου (Ca+Mg):(Na+K). Διαπιστώνεται και για τις δύο περιόδους



Σχήμα 9.97. Χωρική κατανομή του λόγου (Ca+Mg):(Na+K) υπόγειων νερών υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.98. Χωρική κατανομή του λόγου (Ca+Mg):(Na+K) υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

ότι η πλειοψηφία των τιμών προβάλλονται κάτω από τη γραμμή τάσης, επιβεβαιώνοντας την άποψη της συνεχούς τροφοδοσίας των υδροφόρων.

Με βάση τις τιμές του λόγου (Ca+Mg):(Na+K) δημιουργήθηκαν χάρτες χωρικής κατανομής που παρουσιάζονται στις σχήματα 9.97 και 9.98. Διαπιστώνεται για την υγρή περίοδο ότι οι μεγαλύτερες τιμές του λόγου παρουσιάζονται στα δυτικά και βόρεια περιθώρια του οροπεδίου. Στις περιοχές αυτές βρίσκονται οι οφιολιθικοί σχηματισμοί και είναι περιοχές έντονου εμπλουτισμού. Οι μικρότερες τιμές του λόγου για την ίδια περίοδο εντοπίζονται στην περιοχή της πρώην λίμνης και στο βορειοανατολικό άκρο της λεκάνης του οροπεδίου και είναι περιοχές μικρότερου εμπλουτισμού. Για την ξηρή περίοδο οι περιοχές έντονου εμπλουτισμού είναι το δυτικό και ανατολικό κομμάτι της λεκάνης, ενώ αντίθετα οι περιοχές μικρού εμπλουτισμού είναι η πρώην λίμνη και βόρεια και βορειοανατολικά του οροπεδίου.

9.5.3 Δείκτες κορεσμού

Ο δείκτης κορεσμού SI ή Langelier (Saturation index) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει αν το νερό έχει την τάση να διαλύει κάποιο ορυκτό, οπότε και συνεχίζει να επηρεάζεται η σύστασή του από τα στοιχεία του ορυκτού ή αν αντίθετα εναποθέτει σε αυτό ή βρίσκεται σε ισορροπία με το ορυκτό. Ο δείκτης κορεσμού (SI) εκφράζεται συνήθως με το λόγο SI=log(IAP/K), όπου IAP είναι το γινόμενο της ιοντικής δραστικότητας στο δείγμα νερού και K το γινόμενο της διαλυτότητας του ορυκτού σε ισορροπία (*Appelo and Postma* 2005).

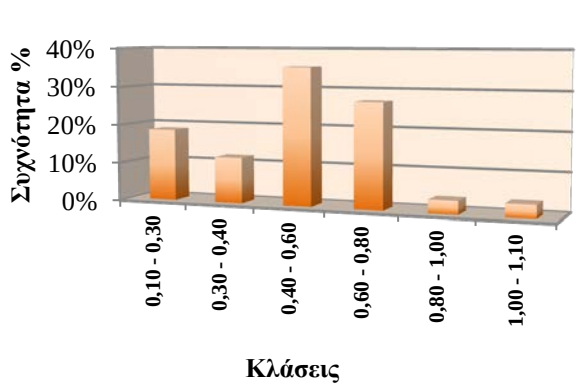
Στην περίπτωση του ασβεστίτη τα γινόμενα αυτά είναι:

$$SI=\log([Ca^{2+}][CO_3^{2-}])/K,$$

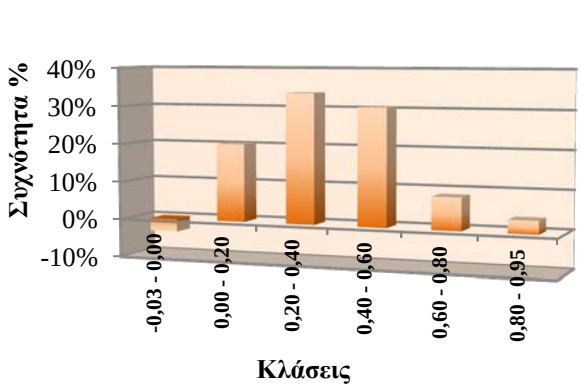
όπου $[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]$ το γινόμενο ενεργότητας και K η σταθερά ισορροπίας. Θετικές τιμές του δείκτη κορεσμού δηλώνουν την τάση του νερού για απόθεση $CaCO_3$ και αρνητικές την τάση να διαλύει $CaCO_3$. Όταν ο λόγος είναι μηδενικός (SI=0) υπάρχει ισορροπία του νερού με το ορυκτό (*Βουδούρης* 2009), φαινόμενο που στη φύση σπάνια επιτυγχάνεται (*Appelo and Postma* 2005).

Η υδρογεωχημική προσομοίωση και οι τιμές των δεικτών κορεσμού (SI) ως προς τα κυριότερα ορυκτά υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα Hydrowin (v. 3.0) (*Calmbach* 1995). Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε για τα νερά των γεωτρήσεων υγρής περιόδου, τα οποία λόγω του μεγάλου αριθμού των δειγμάτων τους θεωρούνται αντιπροσωπευτικά αυτών των δεικτών (Πίνακας 9.6).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, τα νερά στο σύνολό τους (100%) περιέχουν αλίτη

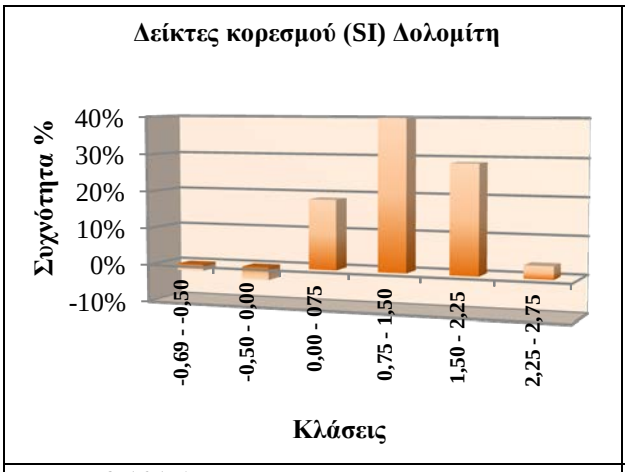


Σχήμα 9.99. Κορεσμός υπόγειων νερών υγρής περιόδου στον Ασβεστίτη.

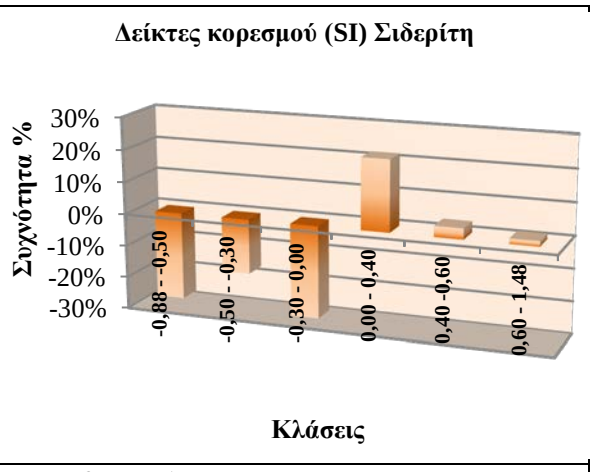


Σχήμα 9.100. Κορεσμός υπόγειων νερών υγρής περιόδου στον Αραγωνίτη.

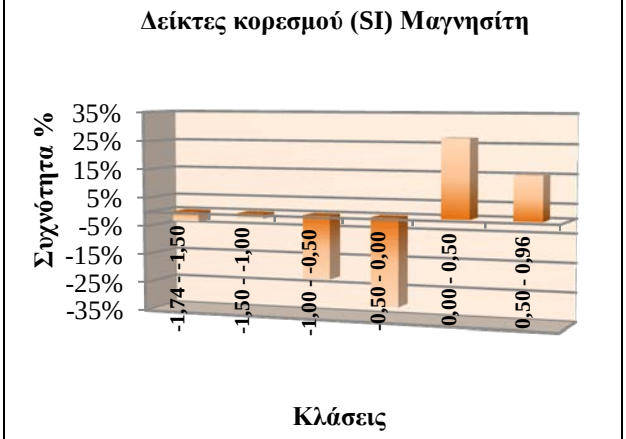
(NaCl) και σε ποσοστό 97% δολομίτη ($CaMg(CO_3)_2$). Στοιχεία απ' τη διάλυση ασβεστίτη και γύψου περιέχουν το 58% και το 95% αντίστοιχα. Επιπλέον από τον πίνακα 9.6



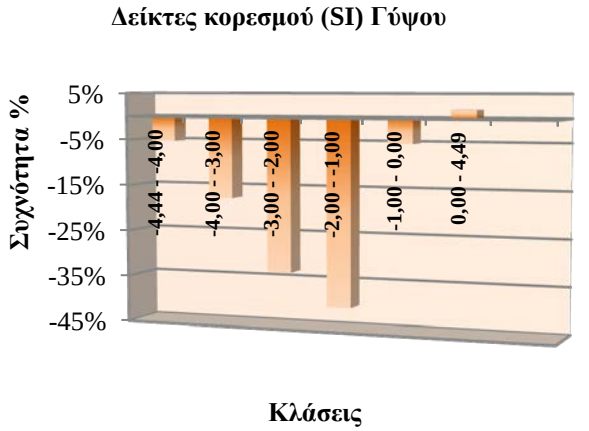
Σχήμα 9.101 Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Δολομίτη.



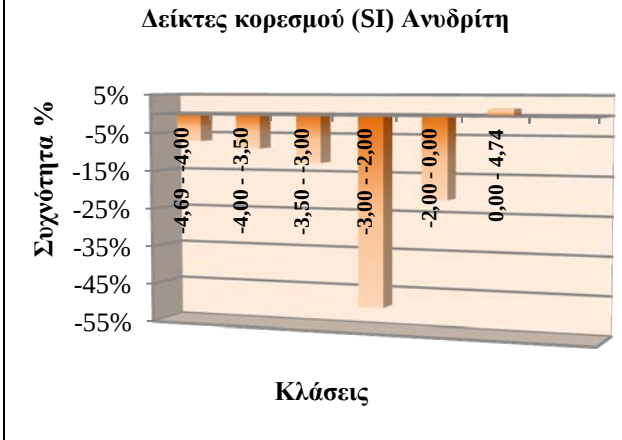
Σχήμα 9.102. Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Σιδερίτη.



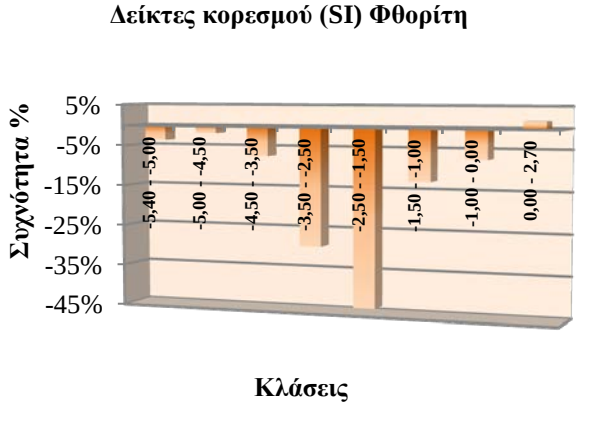
Σχήμα 9.103. Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Μαγνησίτη.



Σχήμα 9.104. Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στη Γύψο.



Σχήμα 9.105. Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στον Ανυδρίτη.



Σχήμα 9.106. Δείκτες κορεσμού υπόγειων νερών υγρής περιόδου στο Φθορίτη.

διαπιστώνεται ότι τα νερά είναι ακόρεστα σε γύψο και ανυδρίτη ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) σε ποσοστό 95% για κάθε ορυκτό και σε φθορίτη (CaF_2) σε ποσοστό 92%. Το φαινόμενο συνδέεται με τη διαρκή διάλυση αυτών των ορυκτών στα νερά των υδροφόρων του οροπεδίου. Επιπλέον τα υπόγεια νερά είναι ακόρεστα σε σιδερίτη ($FeCO_3$) και μαγνησίτη ($MgCO_3$) σε ποσοστό

Πίνακας 9.6. Τιμές δεικτών κορεσμού (SI) ως προς τα κυριότερα ορυκτά των γεωτρήσεων υγρής περιόδου**.**

Γεώτρηση	Ασβετίτης	Αραγωνίτης	Δολομίτης	Σιδερίτης	Μαγνησίτης	Γύψος	Ανυδρίτης	Φθορίτης
Γ1	0,61	0,46	2,22	0,36	0,81	-4,33	-4,57	-2,44
Γ2	0,05	0,20	1,28	0,20	0,50	4,49	4,74	2,70
Γ3	0,31	0,16	1,23	-0,15	0,11	-2,50	-2,75	-1,81
Γ4	0,46	0,31	0,86	-0,39	-0,45	-1,61	-1,86	-1,36
Γ5	0,24	0,09	-0,50	-0,82	-1,59	-3,13	-3,38	-1,51
Γ6	0,41	0,26	0,82	-0,29	-0,35			-3,02
Γ7	0,12	-0,03	1,85	0,59	0,91			
Γ8	0,69	0,54	2,20	0,15	0,71	-1,76	-2,01	-2,58
Γ9	0,61	0,46	1,81	0,16	0,48	-4,29	-4,53	-3,87
Γ10	0,48	0,34	1,30	0,28	0,14	-3,55	-3,78	-5,26
Γ11	0,31	0,16	-0,16	-0,78	-1,27	-2,27	-2,51	-1,56
Γ12	0,24	0,08	-0,69	-0,88	-1,74	-1,85	-2,10	-1,28
Γ13	0,64	0,49	1,24	-0,03	-0,15	-2,39	-2,63	-2,65
Γ14	0,47	0,32	1,89	0,06	0,61	-3,32	-3,57	
Γ15	0,43	0,28	1,50	0,21	0,27	-2,92	-3,16	-5,31
Γ16	0,55	0,40	2,33	0,54	0,96	-4,44	-4,69	-2,55
Γ17	0,56	0,41	1,42	0,15	0,11	-2,52	-2,76	-3,36
Γ18	0,73	0,58	1,85	-0,11	0,31	-1,00	-1,24	-1,57
Γ19	0,58	0,43	1,60	-0,02	0,21	-1,96	-2,21	-2,62
Γ20	0,40	0,26	1,09	-0,04	0,03	-2,49	-2,72	-3,51
Γ21	0,28	0,14	0,86	-0,08	-0,04	-3,40	-3,62	-3,10
Γ22	0,28	0,14	0,79	-0,17	-0,16	-3,27	-3,50	-4,62
Γ23	0,81	0,66	2,04	0,14	0,47	-2,45	-2,69	-2,29
Γ24	0,72	0,57	1,69	-0,20	0,16	-1,54	-1,79	-2,35
Γ25	0,26	0,11	0,66	-0,28	-0,44	-2,12	-2,37	-3,26
Γ26	0,61	0,46	2,02	0,32	0,61	-3,56	-3,81	-3,55
Γ27	0,65	0,50	1,83	-0,29	0,34	-1,63	-1,88	-1,78
Γ28	0,76	0,61	1,62	0,13	0,07	-3,04	-3,29	-2,26
Γ29	1,07	0,93	2,75	1,48	0,93	-3,49	-3,73	-3,19
Γ30	0,59	0,44	1,28	-0,44	-0,14	-1,91	-2,16	
Γ31	0,83	0,68	1,70	-0,15	0,02	-1,87	-2,12	-2,02
Γ32	0,57	0,42	1,13	-0,26	-0,24	-2,20	-2,44	-2,40
Γ33	0,47	0,32	1,01	-0,31	-0,28	-2,75	-3,00	-3,38
Γ34	0,75	0,60	2,13	0,00	0,56	-2,29	-2,54	-2,36
Γ35	0,76	0,61	1,62	-0,45	0,03	-1,76	-2,01	-2,09
Γ36	1,10	0,95	2,16	0,20	0,24	-2,77	-3,02	-2,64
Γ37	0,40	0,25	1,00	-0,85	-0,21	-1,66	-1,91	-1,51
Γ38	0,39	0,24	0,79	-0,57	-0,45	-2,74	-2,99	-2,66
Γ39	0,51	0,36	1,19	-0,62	-0,08	-1,74	-1,98	-2,80
Γ40	0,78	0,63	2,07	0,11	0,49	-1,91	-2,16	-1,73
Γ41	0,45	0,30	0,96	-0,52	-0,29	-1,78	-2,03	-1,73
Γ42	0,64	0,49	1,23	-0,36	-0,25	-2,03	-2,28	-3,03
Γ43	0,45	0,30	0,71	-0,70	-0,58	-1,53	-1,78	-1,97
Γ44	0,50	0,35	0,78	-0,47	-0,54	-3,23	-3,48	-3,53
Γ45	0,62	0,47	1,02	-0,64	-0,46	-1,78	-2,03	-2,67
Γ46	0,42	0,27	0,64	-0,49	-0,62	-2,30	-2,54	-1,38
Γ47	0,50	0,35	0,97	-0,49	-0,36	-3,84	-4,09	-2,44
Γ48	0,65	0,50	0,96	-0,24	-0,53	-2,77	-3,02	
Γ49	0,14	-0,01	0,27	-0,56	-0,72	-1,88	-2,13	-2,78
Γ50	0,28	0,13	0,44	-0,60	-0,67	-1,97	-2,22	-1,36
Γ51	0,52	0,37	0,78	-0,41	-0,61	-1,87	-2,12	-2,07
Γ52	0,67	0,52	1,05	-0,25	-0,46	-2,03	-2,28	-2,16
Γ53	0,59	0,44	0,98	-0,28	-0,44	-1,61	-1,86	-1,90
Γ54	0,23	0,08	0,11	-0,66	-0,97	-1,51	-1,76	-1,01
Γ55	0,32	0,16	0,40	-0,82	-0,76	-1,50	-1,75	-2,05
Γ56	0,26	0,11	0,45	-0,66	-0,63	-2,38	-2,63	-2,43
Γ57	0,30	0,15	0,22	-0,69	-0,94	-1,41	-1,66	-1,01
Γ58	0,44	0,29	0,65	-0,45	-0,60	-2,15	-2,40	-1,89
Γ59	0,38	0,23	0,60	-0,65	-0,60	-1,46	-1,70	-1,29

71% και 58% αντίστοιχα. Το σύνολο των νερών (100%) είναι κορεσμένα σε ασβεστίτη ($CaCO_3$), ενώ σε αραγωνίτη ($CaCO_3$) και σε δολομίτη ($CaMg(CO_3)_2$) σε ποσοστό 97% και 95% αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει περαιτέρω τάση διάλυσής του ασβεστίτη ή είναι πολύ μικρή για τον αραγωνίτη και το δολομίτη. Κατά συνέπεια οι αλλαγές στο χαρακτήρα κορεσμού των νερών από αυτά τα ορυκτά αναμένονται περιορισμένες.

Στα σχήματα 9.99-9.106 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των δεικτών κορεσμού (SI) με την κατηγοριοποίηση τους σε κλάσεις. Οι ακόρεστες συνθήκες αντιπροσωπεύουν τις αρνητικές τιμές κάτω από τον άξονα των x, ενώ οι θετικές τιμές παρουσιάζονται σε στήλες επάνω από τον άξονα. Αντιστοιχούν σε συνθήκες κορεσμού μεταξύ του νερού και του αντίστοιχου ορυκτού.

9.6 Στατιστική επεξεργασία υπόγειων νερών

9.6.1 Γενικά

Για την διερεύνηση και την αντικειμενικότερη προσέγγιση των υδροχημικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των υδροχημικών δεδομένων. Η στατιστική ανάλυση έχει εφαρμοστεί με επιτυχία από διάφορους ερευνητές σε πολλούς τομείς επιστημών, όπως και στην υδρογεωλογία (*Voudouris et al.* 1997, *Lamprakis et al.* 2004, *Love et al.* 2004).

Στην παρούσα διατριβή εφαρμόστηκαν οι στατιστικές μέθοδοι της ανάλυσης συσχέτισης (Correlation Analysis), της παραγοντικής ανάλυσης (R-Factor Analysis) και της ανάλυσης σε ομάδες (Cluster Analysis) με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου *SPSS 19.0* (2010).

9.6.2 Ανάλυση συσχέτισης (Correlation Analysis)

Η ανάλυση συσχέτισης στα δεδομένα υπόγειων νερών χρησιμοποιήθηκε με σκοπό: α) Να διαπιστωθεί αν υπάρχει σχέση μεταξύ των μεταβλητών, β) να αξιολογηθεί η μορφή αυτής της συσχέτισης αν είναι δηλ. θετική, αρνητική μη μηδενική και γ) να εξακριβωθεί η δύναμη της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε όπως και στα δεδομένα των εδαφοχημικών αναλύσεων ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης pearson (*r*). Οι θετικές τιμές του *r* δεν υποδηλώνουν μεγαλύτερο βαθμό γραμμικής συσχέτισης από τις αρνητικές τιμές του *r*. Ο βαθμός συσχέτισης καθορίζεται από την απόλυτη τιμή του συντελεστή και όχι από το πρόσημό του (*http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/sisxetisi091.pdf*).

Πηγές

Από τον πίνακα συσχέτισης (Correlation matrix) (Παράρτημα ΙΙ) για τα νερά των πηγών διαπιστώνεται:

- Εξαιρετικά ισχυρή θετική συσχέτιση του **Ca** με το Na (r=0,84) και με το Cl (r=0,81) και ισχυρή θετική συσχέτιση με τα SO_4^{2-} (r=0,77), τα NO_3^- (r=0,68) και το F (r=0,64).
- Εξαιρετικά ισχυρή συσχέτιση του **Na** με το Cl (r=0,91) και τα SO_4^{2-} (r=0,94) και ισχυρή θετική συσχέτιση με τα NO_3^- (r=0,73) και το F (r=0,79).
- Εξαιρετικά ισχυρή θετική συσχέτιση των $\mathbf{SO_4^{2-}}$ με τα NO_3^- (r=0,86) και ισχυρή με τα NH_4^+ (r=0,75) και το F (r=0,69).
- Εξαιρετικά ισχυρή συσχέτιση του **Cl** με τα SO_4^{2-} (r=0,92), και ισχυρή με τα NO_3^- (r=0,78), τα NH_4^+ (r=0,75) με το F (r=0,65).

Όλες οι ανωτέρω συσχετίσεις υποδηλώνουν ρυπογενή φορτία από αστικά λύματα των οικισμών και χρήση λιπασμάτων.

- Ισχυρή θετική σχέση (0,64) του **Mg** με τα HCO_3^-, με τα PO_4^{3-} (0,62) και το Cr (0,63) που συνδέεται με τη συνύπαρξη των στοιχείων στους οφιολιθικούς σχηματισμούς.
- Ισχυρή θετική σχέση (0,65) του **K** με το Ni που συνδέεται με την παρουσία των

στοιχείων στο υπόβαθρο της λεκάνης.

- Ισχυρή αρνητική συσχέτιση (-0,63) των $\mathbf{PO_4^{3-}}$ με το F που συνδέεται με την ανταγωνιστική σχέση των στοιχείων στα ηφαιστειογενή πετρώματα.
- Εξαιρετικά ισχυρή θετική συσχέτιση του **Br** με το I (0,98) που σχετίζεται με τη γενικότερη σχέση των δύο στοιχείων και με τη συνύπαρξή τους στην οργανική ύλη.

Υγρή περίοδος

Από τον πίνακα συσχέτισης (Correlation matrix) για την υγρή περίοδο διαπιστώνεται (Πίνακας 9.8):

- Ισχυρή θετική συσχέτιση του **Ca** με τα NO_3^- (r=0,61) που σχετίζεται με τη χρήση λιπασμάτων.
- Ισχυρή θετική συσχέτιση του **Na** με το Mn (r=0,71) που αποδίδεται στην ύπαρξη εβαποριτικής κρούστας στα οργανικά υπολείμματα της τέως λίμνης, που δημιουργήθηκε λόγω εξάτμισης σε περιόδους ξηρασίας κατά τη διάρκεια της παλαιογεωγραφικής εξέλιξής της.
- Ισχυρή θετική συσχέτιση των $\mathbf{SO_4^{2-}}$ με τα NH_4^+ (r=0,61) που σχετίζεται με τις διαδικασίες αποδόμηση οργανικής ύλης.
- Ισχυρή θετική συσχέτιση του **Br** με το I (0,78) που αποδίδεται στη σύνδεση των δύο αλογόνων και με την ύπαρξή τους στα οξείδια του σιδήρου και στην οργανική ύλη.
- Εξαιρετικά ισχυρή θετική συσχέτιση του **Cu** με το Pb (0,89) που σχετίζεται με την ισχυρή με το οργανικό υλικό συγγένεια των δύο μετάλλων, με το οποίο δημιουργούν σύμπλοκες ενώσεις.

Ξηρή περίοδος

Από τον πίνακα συσχέτισης (Correlation matrix) για την ξηρή περίοδο διαπιστώνεται (Πίνακας 9.9):

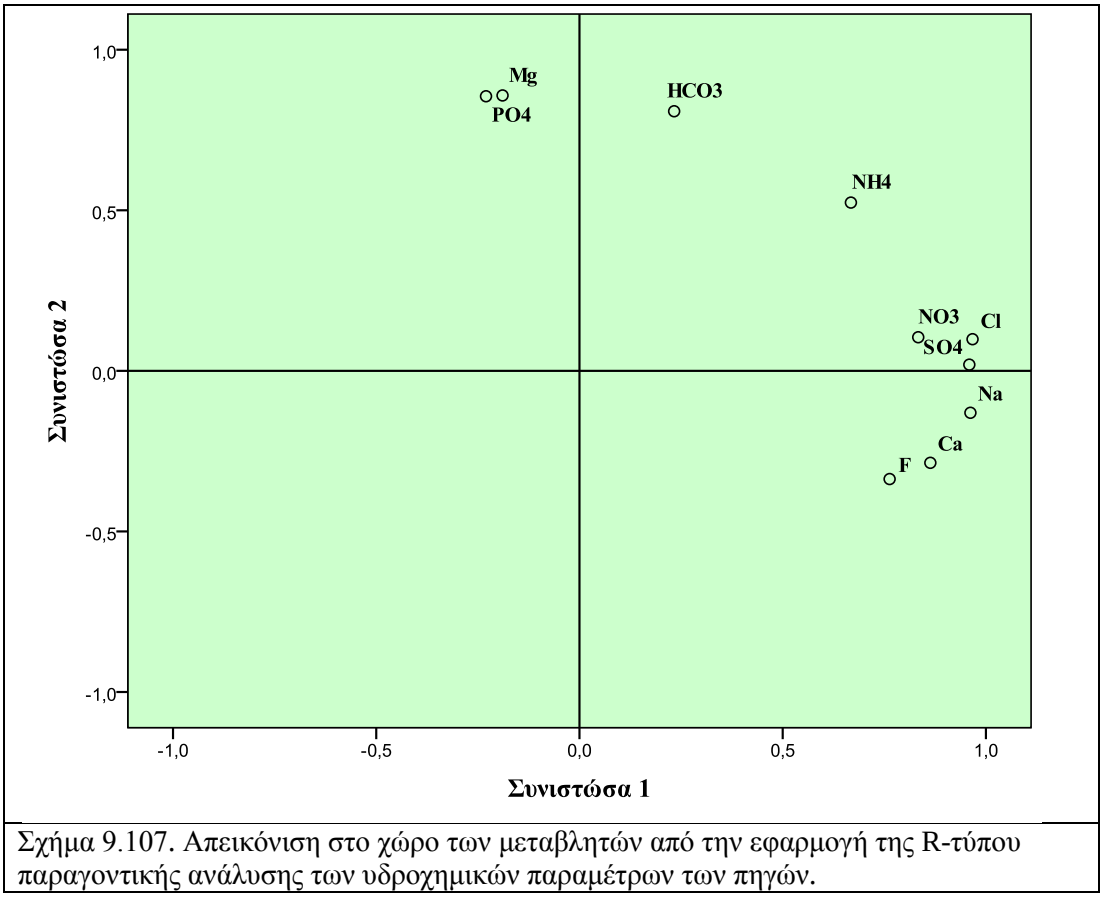
- Ισχυρή θετική συσχέτιση του **Ca** με τα NO_3^- (r=0,67) που συνδέεται με τη χρήση λιπασμάτων και ισχυρή αρνητική συσχέτιση με το SiO_2 (r=-0,67) που υποδεικνύει ανταγωνιστική σχέση. Η παρουσία του Ca ευνοεί υψηλές τιμές pH συνθήκες που καθιστούν το SiO_2 αδιάλυτο.
- Ισχυρή θετική συσχέτιση του **Mg** με το SiO_2 (r=0,71) που αποδίδεται στην παρουσία των στοιχείων στους σχηματισμούς των οφιολίθων.
- Ισχυρή θετική συσχέτιση του **Na** με τα HCO_3^- (r=0,69) και εξαιρετικά ισχυρή θετική με το Mn (0,90). Ισχυρή θετική συσχέτιση των $\mathbf{HCO_3^-}$ με τα NH_4^+ (r=0,64) και εξαιρετικά ισχυρή θετική με το Mn (r=0,90) και ισχυρή θετική συσχέτιση των $\mathbf{NH_4^+}$ (r=0,77) με το Mn. Οι συσχετίσεις αυτές υποδεικνύουν διεργασίες που σχετίζονται με την οξείδωση οργανικών στρωμάτων στην περιοχή της τέως λίμνης και τα ενυπάρχοντα σε αυτά λεπτών εβαποριτικών στρωμάτων.
- Ισχυρή θετική συσχέτιση των $\mathbf{PO_4^{3-}}$ με το SiO_2 (0,65) που συνδέεται με την παρουσία των στοιχείων στα ηφαιστειογενή πετρώματα.

9.6.3 Παραγοντική Ανάλυση (R-Factor Analysis)

Η Factor Analysis επιλέχθηκε σαν μέθοδος στατιστικής επεξεργασίας των δεδομένων αναλύσεων νερού στην παρούσα διατριβή καθώς έχει χρησιμοποιηθεί με σημαντικά αποτελέσματα σε επιστημονικές εργασίες που αφορούσαν υδροχημικά δεδομένα υπόγειων νερών (*Olmez et al.*1994, *Chen-Wuing Liu et al.* 2003, *Munoz-Carpena et al.* 2005). Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για τα δείγματα των πηγών και για κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Οι υδροχημικοί παράμετροι που τελικά εισήχθησαν στο πρόγραμμα προέκυψαν έπειτα από αρκετές δοκιμές στις οποίες γινόταν έλεγχος της αξιοπιστίας της μεθόδου, ενώ γινόταν αποκλεισμός των μεταβλητών με χαμηλή συσχέτιση και τιμές εταιρικότητας <0,5.

Πηγές

Η εφαρμογή της Factor Analysis στα νερά των πηγών παρουσιάζεται αξιόπιστη καθώς



Σχήμα 9.107. Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των πηγών.

Πίνακας 9.7. Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των πηγών.

Μεταβλητή	1	2	Communality
Ca	**0,84**	-0,29	0,79
Mg	-0,13	**0,81**	0,67
Na	**0,95**	-0,18	0,94
HCO_3^-	0,28	**0,86**	0,82
Cl	**0,97**	0,04	0,95
SO_4^{2-}	**0,96**	-0,06	0,93
NO_3^-	**0,85**	-0,02	0,71
PO_4^{3-}	-0,18	**0,85**	0,76
NH_4^+	**0,70**	0,47	0,71
F	**0,74**	-0,34	0,66
Διακύμανση	**49,3%**	**27,8%**	**77,1%**

ο δείκτης Keiser-Meyer-Olkin είναι 0,63 (>0,50) και ο δείκτης σφαιρικότητας Bartlett's, sig είναι 0,00 (<0,05) (Παράρτημα ΙΙ). Η τελική εφαρμογή της μεθόδου Principal Components Analysis, με τη βελτιστοποίηση των τιμών των φορτίων με τη μέθοδο Varimax Rotation προσδιορίζει δύο παράγοντες, σύμφωνα με το κριτήριο «*Cattell's Scree test*» που ερμηνεύουν το 77,1% της ολικής διακύμανσης. Οι τιμές εταιρικότητας των μεταβλητών είναι >0,5 κάτι που σημαίνει ότι το μοντέλο των δύο παραγόντων λειτουργεί ικανοποιητικά (Σχήμα 9.107, Πίνακας 9.7):

- Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 49,3% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τις παραμέτρους Cl^- (0,97) SO_4^{2-} (0,96), Na^+ (0,95), NO_3^- (0,85), Ca^{2+} (0,84), NH_4^+ (0,70) και F^- (0,74)

Πίνακας 9.8. Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων υπόγειων νερών υγρής περιόδου.

	Ca	Mg	Na	K	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	NH_4^+	F	Br	I	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Ca	1,00																				
Mg	-0,37	1,00																			
Na	0,06	0,14	1,00																		
K	0,29	-0,25	-0,09	1,00																	
HCO_3^-	0,36	0,47	0,38	0,15	1,00																
Cl	0,34	0,05	0,47	-0,07	0,26	1,00															
SO_4^{2-}	0,36	0,45	0,35	-0,04	0,31	0,20	1,00														
NO_3^-	**0,61**	-0,07	-0,05	0,04	0,08	0,22	0,30	1,00													
PO_4^{3-}	-0,33	0,23	0,36	-0,30	-0,06	0,31	0,03	-0,28	1,00												
NH_4^+	0,02	0,58	0,44	0,03	0,41	0,29	**0,61**	0,06	0,44	1,00											
F	0,44	0,06	0,19	0,06	0,37	0,28	0,36	0,34	-0,47	0,05	1,00										
Br	-0,18	0,03	0,21	-0,13	-0,10	-0,16	0,06	-0,18	0,07	-0,06	-0,14	1,00									
I	-0,33	0,13	0,24	-0,01	-0,18	-0,20	0,23	-0,38	0,12	0,06	-0,20	**0,78**	1,00								
Fe	-0,09	0,11	-0,16	0,00	-0,02	-0,32	0,05	0,07	-0,17	-0,02	0,11	0,27	0,14	1,00							
Mn	-0,07	0,27	**0,71**	-0,03	0,52	0,24	0,11	-0,24	0,27	0,33	0,10	0,35	0,27	-0,10	1,00						
Cu	-0,17	0,28	-0,13	-0,06	0,23	-0,10	-0,08	-0,04	-0,16	-0,10	0,05	-0,06	-0,09	0,10	-0,03	1,00					
Zn	0,22	0,06	0,03	-0,04	0,05	0,12	0,36	0,15	0,16	0,30	0,09	-0,18	-0,11	-0,01	-0,09	-0,06	1,00				
Cr	0,03	-0,02	-0,02	0,12	0,01	0,06	-0,06	0,01	0,16	0,18	0,03	-0,01	0,04	-0,08	0,01	-0,12	-0,11	1,00			
Ni	-0,07	0,00	0,12	-0,19	-0,07	0,17	-0,01	0,06	0,26	0,02	-0,05	-0,04	-0,13	-0,14	-0,03	-0,13	0,10	0,00	1,00		
Pb	-0,15	0,25	-0,15	-0,08	0,16	-0,10	-0,09	-0,01	-0,06	-0,06	-0,01	0,17	0,05	0,27	-0,03	**0,89**	-0,07	-0,11	-0,16	1,00	
Cd	-0,32	0,23	0,35	-0,08	-0,03	-0,02	0,20	-0,40	0,27	0,18	-0,18	0,43	0,70	-0,19	0,38	0,00	-0,10	0,04	-0,29	0,01	1,00

Πίνακας 9.9. Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

	Ca	Mg	Na	K	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	NH_4^+	F	Br	I	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni	SiO_2
Ca	1,00																		
Mg	-0,50	1,00																	
Na	0,15	0,30	1,00																
K	0,49	-0,38	0,44	1,00															
HCO_3^-	0,24	0,54	**0,61**	0,17	1,00														
Cl	0,52	-0,07	0,39	0,18	0,14	1,00													
SO_4^{2-}	0,20	0,22	0,20	0,01	-0,05	0,19	1,00												
NO_3^-	**0,67**	-0,40	-0,17	0,34	-0,10	0,32	0,08	1,00											
PO_4^{3-}	-0,42	0,33	0,03	-0,37	-0,03	-0,07	-0,07	-0,32	1,00										
NH_4^+	-0,09	0,39	0,49	0,32	**0,64**	-0,08	-0,24	-0,25	0,05	1,00									
F	0,29	0,10	0,38	0,25	0,01	0,41	0,59	0,32	-0,11	-0,07	1,00								
Br	-0,34	0,07	-0,02	0,10	-0,25	-0,26	0,03	-0,27	0,36	0,11	-0,08	1,00							
I	-0,29	0,31	0,10	0,06	0,12	-0,25	-0,02	-0,12	-0,12	0,31	0,24	0,10	1,00						
Fe	-0,01	0,38	0,25	0,03	0,28	-0,03	0,50	-0,36	0,14	0,24	0,22	0,23	-0,14	1,00					
Mn	0,02	0,52	**0,69**	0,28	**0,90**	0,05	-0,15	-0,27	0,01	**0,77**	-0,15	-0,12	0,16	0,25	1,00				
Zn	0,20	0,14	-0,08	-0,21	0,01	0,55	0,38	-0,02	-0,06	-0,11	0,28	-0,27	-0,07	0,15	-0,07	1,00			
Cr	-0,35	0,14	-0,32	-0,24	-0,04	-0,30	-0,38	-0,20	-0,06	-0,13	-0,55	-0,15	-0,09	-0,25	-0,03	-0,24	1,00		
Ni	0,09	-0,27	0,16	0,31	-0,38	0,17	0,42	0,06	0,00	-0,21	0,34	0,22	-0,07	-0,19	-0,28	0,24	-0,30	1,00	
SiO_2	**-0,67**	**0,71**	0,24	-0,53	0,12	-0,11	0,13	-0,48	**0,65**	0,05	0,01	0,17	0,15	0,14	0,17	-0,10	0,11	0,01	1,00

Ο παράγοντας περιγράφει ρυπογενές φορτίο, που σχετίζεται με την εφαρμογή λιπασμάτων και με τα αστικά εντός των οικισμών λύματα (*Sikora et al.* 1976), δεδομένου ότι στην περιοχή έρευνας εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό απορροφητικοί βόθροι. Η πηγή των NO_3^- είναι πολύ πιθανό να προέρχεται από λύματα ή απόβλητα καθώς ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ νιτρικών και χλωρίου είναι πολύ υψηλός (0,92), αρκετά μεγαλύτερος από την οριακή τιμή 0,35 που υποδηλώνει σύνδεση (*Pacheco et al.* 2001).

- Ο δεύτερος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρό θετικό φορτίο το Mg (0,81), τα HCO_3^- (0,86) και τα PO_4^{3-} (0,85) και εκφράζει το 27,8% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο παράγοντας περιγράφει τη συνύπαρξη των στοιχείων σε υπόγεια νερά που προέρχονται κυρίως από οφιολιθικούς σχηματισμούς.

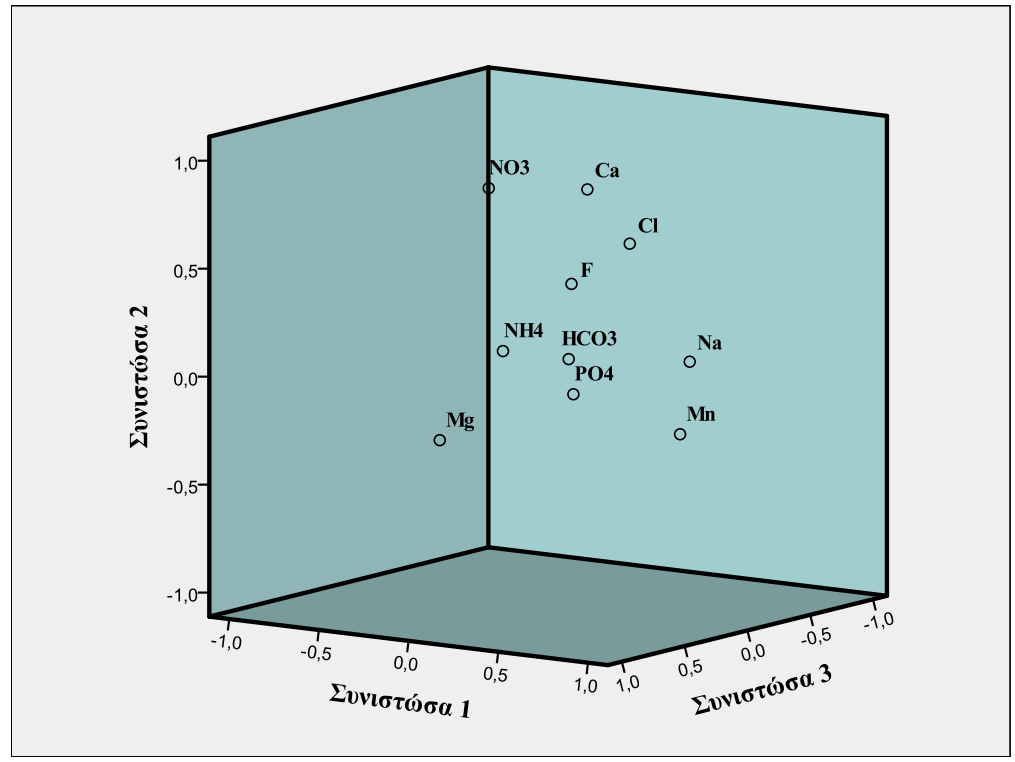
Υγρή περίοδος

Η εφαρμογή της Factor Analysis στα νερά της υγρής περιόδου παρουσιάζεται αξιόπιστη δεδομένου ότι ο δείκτης Keiser-Meyer-Olkin είναι 0,51 (>0,50) και ο δείκτης σφαιρικότητας Bartlett's, sig είναι 0,00 (<0,05) (Παράρτημα ΙΙ). Η τελική εφαρμογή της μεθόδου Principal Components Analysis, με τη βελτιστοποίηση των τιμών των φορτίων με τη μέθοδο Varimax Rotation, προσδιορίζει τέσσερις παράγοντες σύμφωνα με το κριτήριο «*Cattell's Scree test*» που ερμηνεύουν το 80,2% της ολικής διακύμανσης. Οι τιμές εταιρικότητας των μεταβλητών είναι >0,5 που σημαίνει ότι το μοντέλο των τεσσάρων παραγόντων λειτουργεί αρκετά ικανοποιητικά (Σχήμα 9.108, Πίνακας 9.10), ενώ επιπλέον αντιστοιχίζονται και οι παραγοντικές τιμές σε κάθε θέση δειγματοληψίας:

- Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 23,4% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τις παραμέτρους Na (0,88) και Mn (0,88). Σύμφωνα με τους *Charizopoulos et al.* (2013a), ο παράγοντας περιγράφει την ύπαρξη λεπτής εβαποριτικής κρούστας που αποτελείται κυρίως από άλατα Na^+ όπως: $Na_2CO_2 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$, Na_2SO_4 και αλίτη NaCl, σε διάφορες αναλογίες (*Tsipoura and Stamatakis* 2005, *Dotsika et al.* 2009). Δημιουργείται σε περιόδους ξηρασίας πάνω από τις οργανικές αποθέσεις στα περιθώρια λιμνών κατά την διάρκεια της παλαιογεωγραφική τους εξέλιξης (*Tsipoura and Stamatakis* 2005), καθώς οι υδρολογικά κλειστές λίμνες, όπως η πρώην λίμνη Ξυνιάδας, είναι πιο ευαίσθητες στις κλιματικές αλλαγές και κύριος ρυθμιστής του υδρολογικού κύκλου είναι η εξατμισοδιαπνοή (*Bernasconi and McKenzie* 2007).
  Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από τους *Digerfeldt et al.* (2000), καθώς στην παλυνολογική μελέτη τους διαπίστωσαν ότι πυρήνες δειγμάτων από την περιοχή της τέως λίμνης είχαν εκτεθεί σε συνθήκες ξηρασίας κατά την διάρκεια του χαμηλού επιπέδου της λίμνης. Επιπλέον, το φαινόμενο παρατηρήθηκε και στην αποξηραμένη λίμνη Κωπαΐδας, περιοχή με παρόμοια χαρακτηριστικά (*Τζιρίτης κ.ά.* 2008, *Tziritis et al.* 2011), επιβεβαιώνοντας την ανωτέρω υπόθεση. Η χωρική απεικόνιση του παράγοντα παρουσιάζεται στο σχήμα 9.109α. Διαπιστώνονται οι ισχυρές φορτίσεις του στα ανατολικά της λεκάνης Ξυνιάδας, περιοχή όπου υπήρχαν τα ανατολικά παλαιογεωγραφικά περιθώρια της τέως λίμνης, καθώς σύμφωνα με τους *Δημητρίου και Αραπογιάννη* (2001), η έκταση της παλαιογεωγραφικής αυτής λίμνης ήταν μεγαλύτερη από αυτή των ιστορικών χρόνων.
- Ο δεύτερος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία το Ca (0,80) και τα NO_3^- (0,81) και με μέτρια φορτία το Cl^- (0,63), εκφράζει το 20,4% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και υποδηλώνει ανθρωπογενές ρυπαντικό φορτίο. Συνδέεται με τη χρήση λιπασμάτων του τύπου $NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$ (22% N και 33% $NCaCO_3$), τα οποία έχουν περιεκτικότητα σε χλώριο ανώτερη του 0,02 % κατά βάρος,(*http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003D0001:EL:HTML*), υπόθεση που ενισχύεται από την θετική σχέση του Ca με τα NO_3^- (0,61)

(*Tisdale and Nelson* 1975). Η περίπτωση προέλευσης των NO_3^- από λύματα ή απόβλητα θα πρέπει να αποκλειστεί, καθώς ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ νιτρικών και χλωρίου είναι (0,22), μικρότερος από την οριακή τιμή (0,35) που σύμφωνα με τους *Pacheco et al*. (2001) υποδηλώνει σύνδεση. Η χωρική κατανομή του παράγοντα παρουσιάζεται στο σχήμα 9.109β. Διαπιστώνονται οι υψηλές φορτίσεις του σε περιοχές που καλλιεργούνται αγρωστώδη, στην καλλιέργεια των οποίων χρησιμοποιείται στη λεκάνη Σκοπιάς ευρέως ο τύπος των ($NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$) λιπασμάτων.

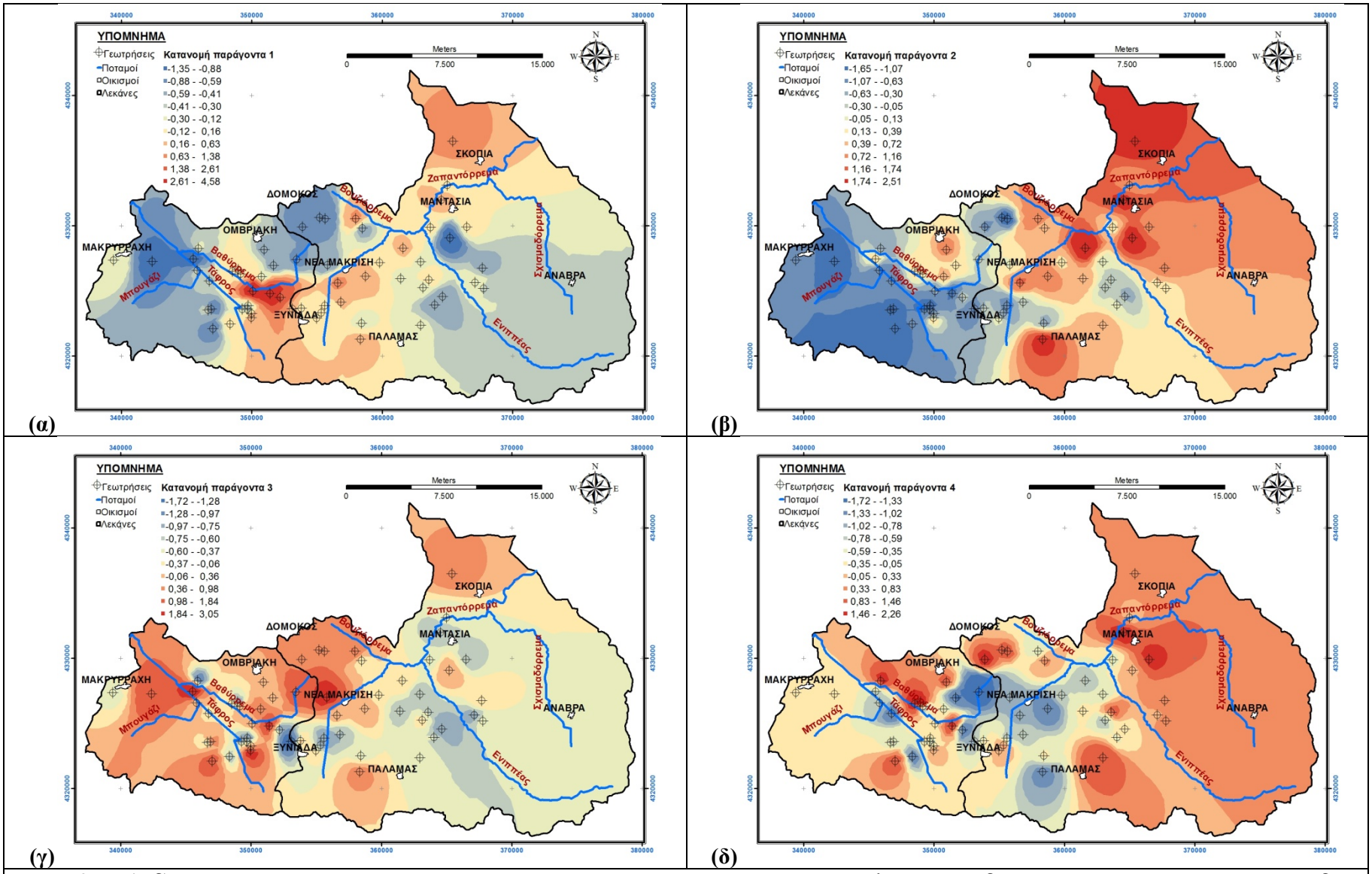
- Ο τρίτος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία το Mg (0,93) και τα NH_4^+ (0,77) και εκφράζει το 19,4% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο



Σχήμα 9.108. Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων υγρής περιόδου.

Πίνακας 9.10. Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων υγρής περιόδου.

Μεταβλητή	**1**	**2**	**3**	**4**	**Communality**
Ca	0,01	**0,80**	-0,18	0,36	0,81
Mg	0,05	-0,20	**0,93**	0,01	0,91
Na	**0,88**	0,13	0,13	-0,13	0,82
HCO_3^-	0,50	0,16	0,55	0,46	0,78
Cl	0,50	**0,63**	0,06	-0,26	0,72
NO_3	-0,27	**0,81**	0,09	0,18	0,77
PO_4^{3-}	0,32	-0,06	0,26	**-0,84**	0,89
NH_4^+	0,29	0,21	**0,77**	-0,27	0,79
F	0,21	0,42	0,11	**0,68**	0,69
Mn	**0,88**	-0,20	0,20	0,08	0,85
Διακύμανση	**23,4%**	**20,4%**	**19,4%**	**17,0%**	**80,2%**



Σχήμα 9.109(α-δ). Χωρική κατανομή των τεσσάρων παραγόντων της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων υγρής περιόδου.

παράγοντας περιγράφει την παρουσία NH_4^+ σε νερά πλούσια σε Mg^{2+} από τη διάβρωση των υπερβασικών μελών του οφιολιθικού καλύμματος. Η θετική παρουσία των NH_4^+ συνδέεται με χρήση λιπασμάτων του τύπου (NH_4NO_3) (N 35%) στις καλλιεργήσιμες περιοχές. Η χωρική διακύμανση του παράγοντα παρουσιάζεται στο σχήμα 9.109γ, με τις θετικές τιμές του να εστιάζονται στις περιοχές των οποίων οι υδροφόροι τροφοδοτούνται από τις παρακείμενες οφιολιθικές μάζες.

- Ο τέταρτος παράγοντας εκφράζει το 17,0% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρό αρνητικό φορτίο τα PO_4^{3-} (-0,84) και με μέτριο θετικό φορτίο το F (0,68). Ο παράγοντας αυτός περιγράφει τη μετατροπή φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη στα ηφαιστειακά μέλη του υποβάθρου της λεκάνης του οροπεδίου με απελευθέρωση φθορίου (*Βουδούρης* 2009):

$$Ca_5(PO_4)_3F + H_2O \leftrightarrow Ca_5(PO_4)_3OH + F^- + H^+$$

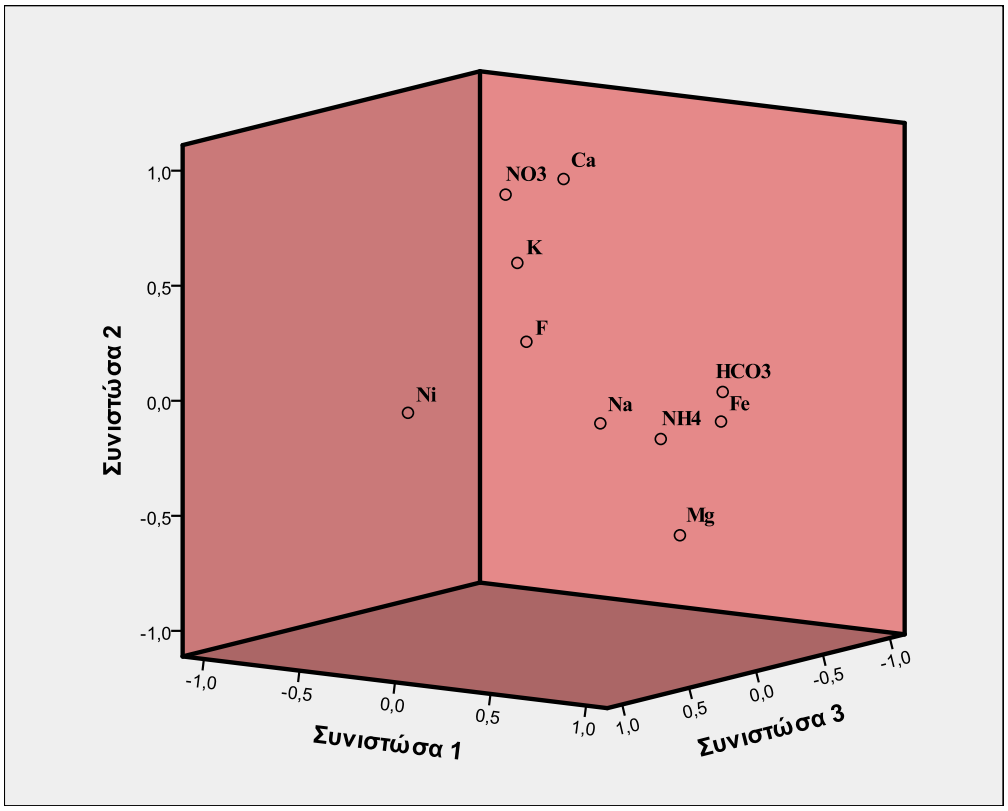
Επιπλέον πιθανή θεωρείται η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων του τύπου ($Ca(H_2PO_4)_2$) (15-20% ή 40-50% P_2O_5) που περιέχουν φθοροαπατίτη ($Ca_5(PO_4)_3F$). Οι παραπάνω θεωρήσεις ερμηνεύουν και τα διαφορετικά πρόσημα των φορτίων που υποδεικνύουν ανταγωνιστική σχέση των δύο στοιχείων. Η χωρική διακύμανση του παράγοντα παρουσιάζεται στο σχήμα 9.10δ. Οι ισχυρές φορτίσεις του εστιάζονται σε περιοχές των οφιόλιθων που βρίσκονται ηφαιστειογενή πετρώματα και σε περιοχές που καλλιεργούνται έντονα, ενισχύοντας τις ανωτέρω υποθέσεις.

Ξηρή περίοδος

Η εφαρμογή της Factor Analysis για τα νερά της ξηρής περιόδου θεωρείται αξιόπιστη καθώς επαληθεύεται από τις τιμές των δεικτών. Ο δείκτης Keiser-Meyer-Olkin είναι 0,51 (>0,50) και ο δείκτης σφαιρικότητας Bartlett's, sig είναι 0,00 (<0,05) (Παράρτημα ΙΙ). Προσδιορίζονται τέσσερις παράγοντες μετά την τελική εφαρμογή της μεθόδου Principal Components Analysis και αφότου προηγήθηκε η βελτιστοποίηση των τιμών των φορτίων με τη μέθοδο Varimax Rotation. Σύμφωνα με το κριτήριο «Cattell's Scree test» οι παράγοντες αυτοί ερμηνεύουν το 82,6% της ολικής διακύμανσης. Οι τιμές εταιρικότητας των μεταβλητών είναι >0,5 κάτι που δηλώνει την λειτουργικότητα του μοντέλου των τεσσάρων παραγόντων (Σχήμα 9.110, Πίνακας 9.11), ενώ επιπρόσθετα γίνεται ο υπολογισμός των παραγοντικών τιμών σε κάθε θέση δειγματοληψίας:

- Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 30,1% της συνολικής διακύμανσης δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τις παραμέτρους HCO_3^- (0,91), NH_4^+ (0,81) και Fe (0,84) και με μέτριο θετικό φορτίο την παράμετρο του Na (0,65). Ο παράγοντας περιγράφει τη δημιουργία τοπικά αναγωγικών συνθηκών λόγω οξείδωσης στα στρώματα τύρφης και οργανικών της πρώην λίμνης Ξυνιάδας. Στα στρώματα αυτά υπάρχουν επιπλέον εβαποριτικά στρώματα με την μορφή λεπτής κρούστας, που περιέχουν μεταξύ άλλων HCO_3^- και Na και έχουν προέλθει από εξάτμιση στα περιθώρια της τέως λίμνης στην πορεία της παλαιοεξέλιξής της. Οι αναγωγικές συνθήκες οδηγούν σε απονιτροποίηση με τελικό προϊόν NH_4^+ και διεγείρουν σημαντικές αντιδράσεις, όπως η αναγωγή οξειδίων Fe, καθώς όπως είναι γνωστό, μερικά υπόγεια νερά μπορεί να περιέχουν ιόντα δισθενούς σιδήρου λόγω έλλειψης οξυγόνου (*Βουδούρης* 2009). Η χωρική κατανομή του παράγοντα παρουσιάζεται στο σχήμα 9.111α, όπου διαπιστώνεται ότι οι υψηλές τιμές του εμφανίζονται στην περιοχή όπου υπήρχαν τα ανατολικά παλαιοπεριθώρια της τέως λίμνης (*Δημητρίου και Αραπογιάννης* 2001).
- Ο δεύτερος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία το Ca (0,93) και τα NO_3^- (0,81), με μέτριο θετικό φορτίο το K (0,66), με μέτριο αρνητικό φορτίο το Mg (-0,62) και εκφράζει το 24,0% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο παράγοντας συνδέεται με τη χρήση λιπασμάτων, του τύπου $NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$ (22% N και 33% $NCaCO_3$), άποψη η οποία ενισχύεται και από τη θετική σχέση του Ca με τα

NO_3 (r=0,67) (*Tisdale and Nelson* 1975) και του τύπου KNO_3 (62% NO_3 και 38% K), ενώ το αρνητικό πρόσημο του Mg υποδηλώνει τον ανταγωνιστικό του ρόλο. Η χωρική κατανομή του παράγοντα παρουσιάζεται στο σχήμα 9.111β, από όπου διαπιστώνονται οι ισχυρές φορτίσεις του στην έντονα καλλιεργήσιμη με εαρινές καλλιέργειες, περιοχή στα ανατολικά του οροπεδίου. Οι χαμηλές φορτίσεις εμφανίζονται στις περιοχές των σχηματισμών των οφιόλιθων προφανώς λόγω της ανταγωνιστικής σχέσης του Mg.

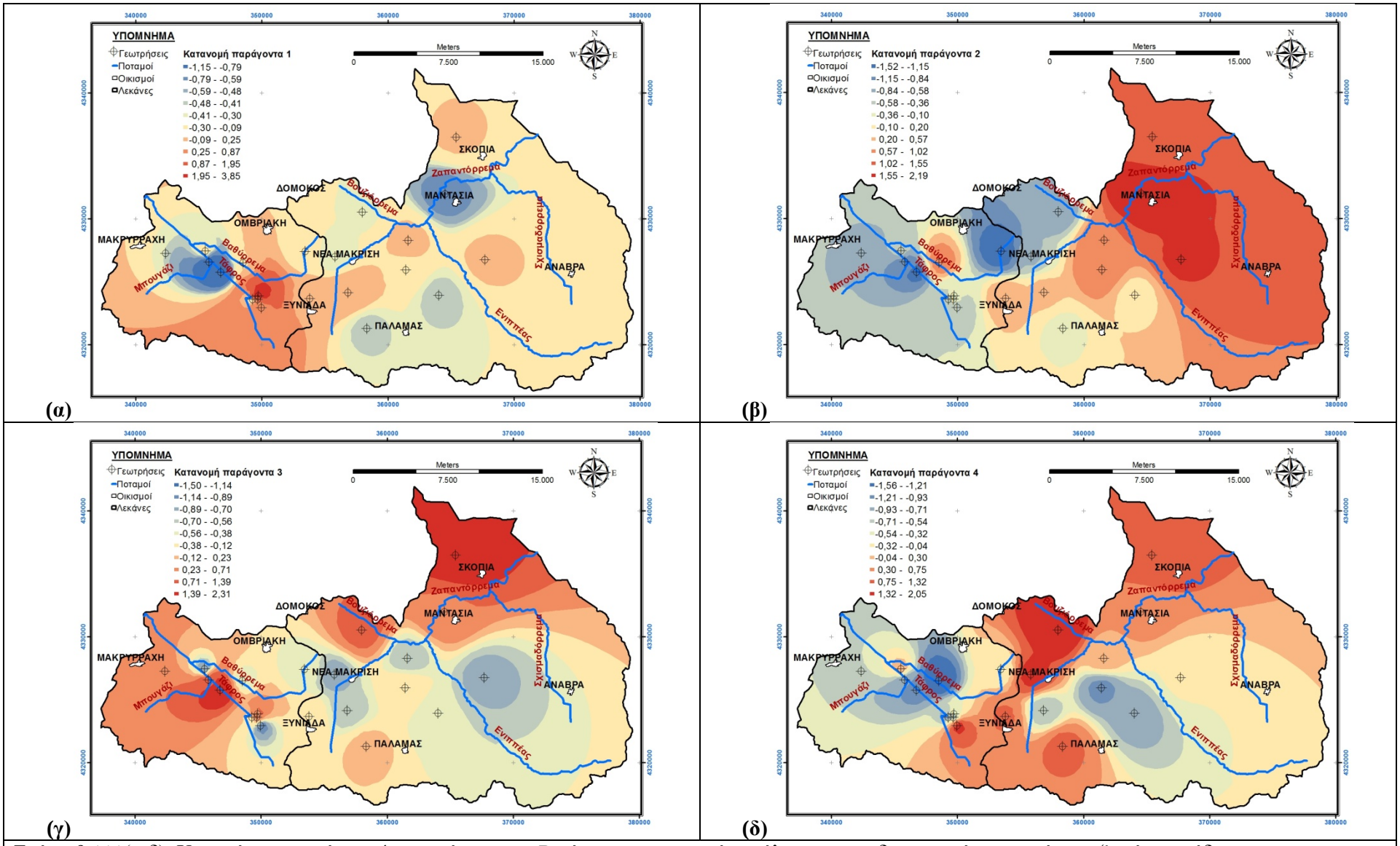


Σχήμα 9.110. Απεικόνιση στο χώρο των μεταβλητών από την εφαρμογή της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων ξηρής περιόδου.

Πίνακας 9.11. Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων ξηρής περιόδου.

Μεταβλητή	**1**	**2**	**3**	**4**	**Communality**
Ca	0,11	**0,93**	0,01	0,11	0,89
Mg	0,53	**-0,62**	-0,26	0,35	0,85
Na	**0,65**	-0,01	0,50	0,42	0,84
K	0,25	**0,66**	0,55	0,13	0,80
HCO_3^-	**0,91**	0,08	-0,05	0,08	0,83
NO_3^-	-0,25	**0,81**	-0,08	0,22	0,77
NH_4^+	**0,81**	-0,09	0,27	-0,16	0,76
F	-0,00	0,23	0,12	**0,93**	0,92
Fe	**0,84**	-0,07	-0,13	0,03	0,73
Ni	-0,00	0,03	**0,93**	0,07	0,87
Διακύμανση	**30,1%**	**24,0%**	**15,9%**	**12,6%**	**82,6%**

- Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 15,9% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρό θετικό φορτίο το Ni (0,93). Η ισχυρή παρουσία του Ni



Σχήμα 9.111(α-δ). Χωρική κατανομή των 4 παραγόντων της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων ξηρής περιόδου.

σχετίζεται με την εξαλλοίωση του πλούσιου σε οφιολιθικά πετρώματα γεωλογικού υποβάθρου που παράγει εδάφη με υψηλές τιμές Ni. Η χωρική κατανομή του παράγοντα παρουσιάζεται στο σχήμα 9.111γ, με τις θετικές τιμές του να εμφανίζονται στα δυτικά και βορειοανατολικά μέρη του οροπεδίου.

- Ο τέταρτος τελικός παράγοντας εκφράζει το 12,6% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρό θετικό φορτίο το F (0,93). Ο παράγοντας αυτός συνδέεται με την παρουσία του F στα ηφαιστειογενή πετρώματα που βρίσκονται στις ακολουθίες των οφιόλιθων ή είναι συνδεδεμένα με ιζηματογενή πετρώματα στα οποία είναι έντονη η παρουσία οργανικών. Από τη χωρική διακύμανση του παράγοντα 4 (Σχήμα 9.111δ) διαπιστώνεται ότι οι θετικές τιμές του εστιάζονται στο οφιολιθικό υπόβαθρο όπου υπάρχουν ηφαιστειογενή πετρώματα.

9.6.4 Ανάλυση σε ομάδες (Cluster Analysis)

Η Cluster analysis έχει χρησιμοποιηθεί με την ίδια επιτυχία όπως η factor analysis, σε επιστημονικές εργασίες που αφορούσαν υδροχημικά δεδομένα υπόγειων νερών (*Steinhorst & Williams* 1985, *Chen et.al. 2007, Helstrup et.al.* 2007, *Monjerezi et. al*. 2011) για αυτό και επιλέχθηκε για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων.

Η μέθοδος εφαρμόστηκε ξεχωριστά για τα δείγματα των πηγών και για κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Στο πρόγραμμα εισήχθησαν οι υδροχημικοί παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην Factor analysis, αφού η μέγιστη συσχέτισή τους επαληθεύτηκε από την αξιοπιστία της μεθόδου. Επιπλέον, ο συνδυασμός παρατηρήσεων σε ομάδες πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ιεραρχικής ανάλυσης σε συστάδες (ομάδες) των οποίων ο αριθμός ορίστηκε σε τέσσερις.

Πηγές

Η εφαρμογή της μεθόδου στα δείγματα των πηγών τα ταξινόμησε και δημιούργησε δενδρόγραμμα με τους συνδυασμούς στις οριζόμενες τέσσερις ομάδες (Πίνακας 9.12, Παράρτημα ΙΙ). Διαπιστώνεται ότι η ομαδοποίηση σχετίζεται με την τροφοδοσία των υδροφόρων των πηγών και με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι πηγές Π1, Π2 και Π5 προφανώς ταξινομούνται στην ίδια ομάδα λόγω του ρυπαντικού τους φορτίου, ενώ οι πηγές Π3 και Π4 ανήκουν στην ίδια ομάδα επειδή τροφοδοτούνται από τους οφιολιθικούς σχηματισμούς. Η ομαδοποίηση των Π6, Π7, Π8 και Π9 σχετίζεται με την τροφοδοσία των υδροφόρων τους από τους παρακείμενους ανθρακικούς σχηματισμούς, ενώ οι πηγές Π10, Π11 και Π12 ομαδοποιούνται λόγω ρυπαντικού φορτίου και κοινής υδροτροφοδοσίας τους από τους σχηματισμούς του φλύσχη στο βορειανατολικό μέρος του οροπεδίου.

Πίνακας 9.12. Ταξινόμηση δειγμάτων πηγών στις τέσσερις ομάδες.

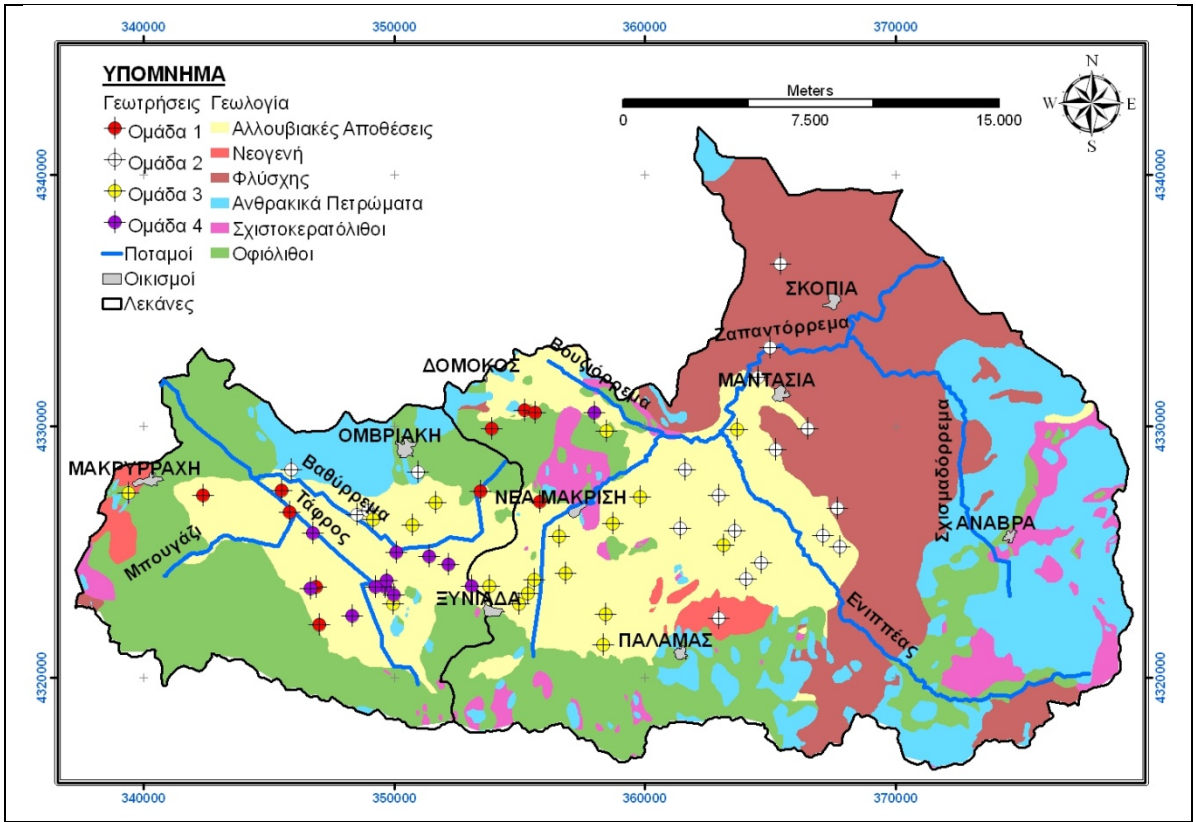
Δείγμα	**Αριθμός Ομάδας**
Π1	1
Π2	1
Π3	2
Π4	2
Π5	1
Π6	3
Π7	3
Π8	3
Π9	3
Π10	4
Π11	3
Π12	4

Υγρή περίοδος

Από την εφαρμογή της Cluster analysis για τα δείγματα της υγρής περιόδου προέκυψε η ταξινόμηση και το δενδρόγραμμα με τους συνδυασμούς στις οριζόμενες τέσσερις ομάδες

Πίνακας 9.13. Ταξινόμηση δειγμάτων υγρής περιόδου στις τέσσερις ομάδες.

Δείγμα	Αριθμός Ομάδας	Δείγμα	Αριθμός Ομάδας	Δείγμα	Αριθμός Ομάδας	Δείγμα	Αριθμός Ομάδας
Γ1	1	Γ16	1	Γ31	3	Γ46	2
Γ2	1	Γ17	4	Γ32	3	Γ47	3
Γ3	1	Γ18	3	Γ33	3	Γ48	2
Γ4	2	Γ19	4	Γ34	1	Γ49	2
Γ5	2	Γ20	4	Γ35	3	Γ50	2
Γ6	3	Γ21	4	Γ36	3	Γ51	2
Γ7	1	Γ22	4	Γ37	3	Γ52	2
Γ8	1	Γ23	4	Γ38	3	Γ53	2
Γ9	1	Γ24	3	Γ39	3	Γ54	2
Γ10	4	Γ25	3	Γ40	4	Γ55	2
Γ11	2	Γ26	1	Γ41	3	Γ56	3
Γ12	2	Γ27	4	Γ42	3	Γ57	2
Γ13	3	Γ28	4	Γ43	2	Γ58	2
Γ14	1	Γ29	4	Γ44	2	Γ59	2
Γ15	4	Γ30	3	Γ45	2		



Σχήμα 9.112. Χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες των δειγμάτων της υγρής περιόδου.

(Πίνακας 9.13, Παράρτημα ΙΙ). Επιπλέον, στο σχήμα 9.112 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες με την αντιστοίχιση σε κάθε θέση δειγματοληψίας του αριθμού της συστάδας. Από τη μελέτη του δενδρογράμματος παρατηρείται η ύπαρξη συγγενείας μεταξύ των τάξεων 1 και 2 και μεταξύ των 3 και 4 λόγω της μικρής απόστασης σύνδεσης των αντίστοιχων Cluster.

Διαπιστώνεται έτσι, ότι στην ομάδα 1 ομαδοποιούνται οι υδρογεωτρήσεις των οποίων οι υδροφόροι τροφοδοτούνται από τα παρακείμενα υπερβασικά πετρώματα, ενώ στην ομάδα 2

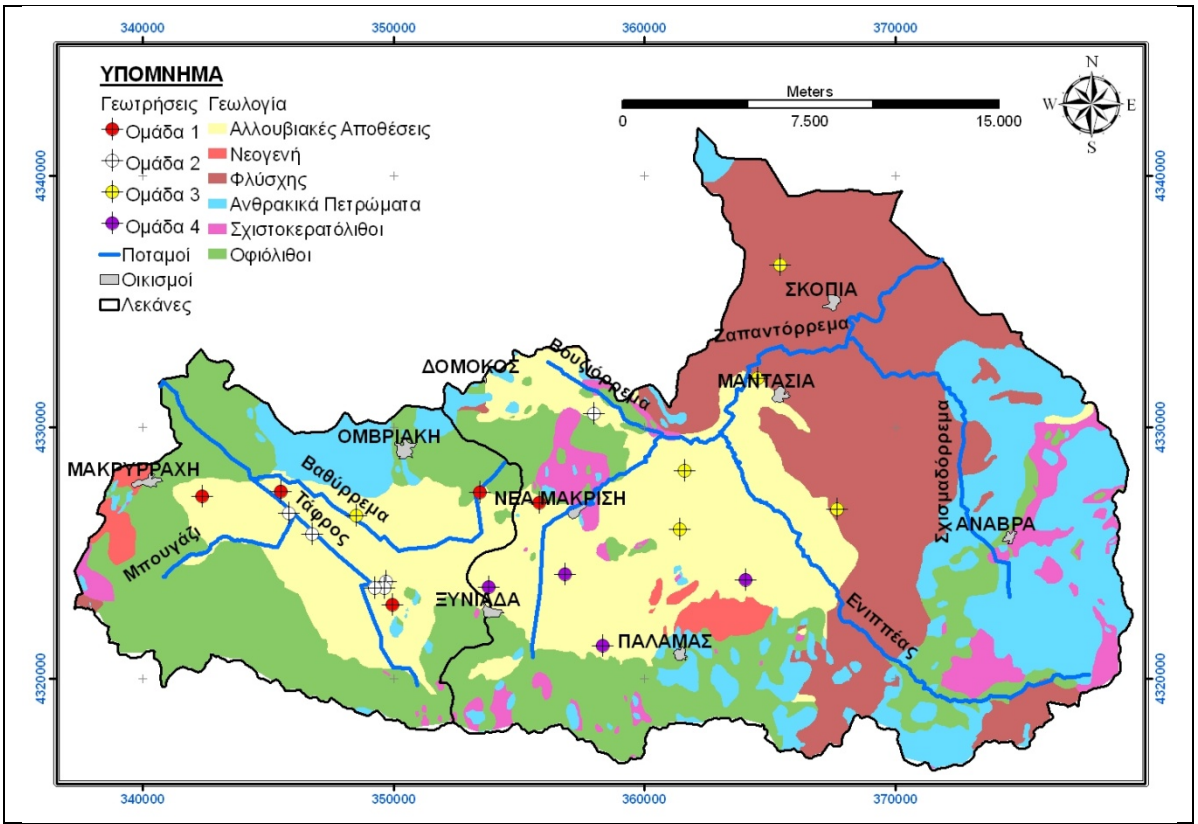
αυτές των οποίων οι υδροφόροι εμπλουτίζονται από ασβεστόλιθους και άλλους ανθρακικούς σχηματισμούς. Αντίθετα στην ομάδα 3 ταξινομούνται γεωτρήσεις με υψηλό ρυπαντικό φορτίο και στην ομάδα 4 οι γεωτρήσεις που μοιράζονται το κοινό υδρογεωχημικό πλαίσιο στην κεντρική περιοχή της πρώην λίμνης. Η ομαδοποίηση αυτή ερμηνεύεται επιπρόσθετα, από τη χωρική κατανομή των υδροσημείων, καθώς και από την υδροχημική ανάλυση των δειγμάτων νερού.

Ξηρή περίοδος

Από την εφαρμογή της Cluster analysis για τα δείγματα της ξηρής περιόδου προέκυψε η ταξινόμηση και το δενδρόγραμμα με τους συνδυασμούς στις οριζόμενες τέσσερις ομάδες (Πίνακας 9.14, Παράρτημα ΙΙ). Η παρατήρηση του δενδρογράμματος μας οδηγεί στο συμπέρασμα της ύπαρξης ομοιότητας μεταξύ των ομάδων 1 και 2 , 3 και 4 λόγω της μικρής

Πίνακας 9.14. Ταξινόμηση δειγμάτων ξηρής περιόδου στις τέσσερις ομάδες.

Δείγμα	Αριθμός Ομάδας	Δείγμα	Αριθμός Ομάδας
Γ07	1	Γ34	1
Γ08	1	Γ36	4
Γ09	2	Γ37	4
Γ10	2	Γ40	2
Γ11	3	Γ43	3
Γ18	2	Γ45	3
Γ20	2	Γ49	4
Γ21	2	Γ53	3
Γ22	1	Γ57	3
Γ26	4	Γ59	3
Γ30	1		



Σχήμα 9.113. Χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες των δειγμάτων της ξηρής περιόδου.

απόστασης σύνδεσής τους. Το συμπέρασμα επαληθεύεται από τη χωρική κατανομή της ανάλυσης σε ομάδες, με την αντιστοίχιση σε κάθε θέση δειγματοληψίας του αριθμού της συστάδας που παρουσιάζεται στο σχήμα 9.113.

Διαπιστώνεται η μικρή γεωγραφική απόσταση μεταξύ των υδροσημείων δειγματοληψίας στα δύο ζεύγη των ομάδων, που προφανώς αντανακλά τη συγγενική υδροχημική τους σχέση. Η διέλευση των υδροφόρων των ομάδων 1 και 2 από τους σχηματισμούς των υπερβασικών πετρωμάτων, καθώς και οι υψηλές τιμές Ni στα δείγματα των νερών που έχουν προέλθει από την αποσάθρωση των ίδιων σχηματισμών, μαζί με το ρυπαντικό φορτίο από τις καλλιεργητικές πρακτικές στις ομάδες 3 και 4, εξηγούν τη μικρή τους «απόσταση» στο δενδρόγραμμα της Cluster analysis.

9.7 Καταλληλότητα χρήσης των υπογείων νερών

9.7.1 Γενικά

Τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα τα οποία έχουν αποκτήσει κατά την πορεία τους μέσα από τα διάφορα πετρώματα. Το νερό αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της πρωτογενούς παραγωγής και της βιομηχανίας επηρεάζοντας την ποιότητα και την ποσότητα. Επιπλέον το κόστος των παραγόμενων προϊόντων, ενώ οι ποιοτικές απαιτήσεις των διαφόρων καταναλωτών νερού ποικίλουν σημαντικά. Ιδιότητες που μπορεί να κάνουν το νερό τελείως ακατάλληλο για κάποιες χρήσεις (π.χ. ύδρευση) μπορεί να μην απαγορεύουν την χρήση του για άλλες (π.χ. βιομηχανική). Επομένως τα κριτήρια καθορίζονται ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται το υπόγειο νερό με πιο συνηθισμένα τα: α) φυσικά χαρακτηριστικά, β) χημικά χαρακτηριστικά και γ) βιολογικά χαρακτηριστικά (*Καλλέργης* 2000).

9.7.2 Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για ανθρώπινη κατανάλωση

Το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να μην είναι θολό, να μην έχει χρώμα, δυσάρεστη οσμή και γεύση. Δεν πρέπει να περιέχει χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς σε ποσότητες που μπορεί να έχουν επιπτώσεις στην υγεία. Σύμφωνα με την Υγειονομική Διάταξη «πόσιμο νερό» νοείται το νερό που χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση είτε με προηγούμενη επεξεργασία, είτε όχι, οποιαδήποτε και αν είναι η προέλευσή του (*Παππά* 2001). Ο μεγαλύτερος αριθμός κρατών σε παγκόσμια βάση έχουν καθιερώσει πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού που εφαρμόζουν χρησιμοποιώντας παρόμοιες μεθόδους ανάλυσης και αποτίμησης των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να είναι εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους. Στη χώρα μας τα όρια ποσιμότητας καθορίστηκαν από την ελληνική νομοθεσία (ΚΥΑ Υ2/2600/2001), (ΦΕΚ 892/Β/11 της 11/07/2001) εναρμονισμένη με την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ε.Ε. της 31/11/1998 (Πίνακας 9.15).

Τα όρια αυτά χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα διατριβή για τη διερεύνηση της καταλληλότητας των υπόγειων νερών για ανθρώπινη κατανάλωση. Η σύγκριση του συνόλου των νερών με τα αυτά τα σταθερότυπα πόσιμου νερού δείχνει συγκεντρώσεις Ca^{2+}, NO_3^- και Br^- σε ποσοστά 40%, 24% και 81% αντίστοιχα πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. Επιπλέον, οι τιμές των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, και Cr έχουν υπέρβαση των ορίων σε ποσοστά 24%, 9%, 10%, 29%, 95% και 34% αντίστοιχα.

Από το σύνολο των γεωτρήσεων οι Γ1, Γ2, Γ3, Γ6 και Γ50 χρησιμοποιούνται μόνο για ύδρευση και οι Γ4, Γ5, Γ16 και Γ46 χρησιμοποιούνται και για ύδρευση και για άρδευση. Στις γεωτρήσεις αυτές οι συγκρίσεις με τα σταθερότυπα πόσιμου νερού δείχνουν συγκεντρώσεις:

- Mg πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τις Γ1, Γ2, Γ3 και Γ16.
- NO_3^- πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τις Γ4 και Γ50.
- Fe πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τις Γ2, Γ3, Γ4, Γ6 και Γ16.
- Cr πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο για τις Γ46 και Γ50.
- Ni και Pb πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο για την Γ1.

Πίνακας 9.15. Σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/ΕΚ, ΦΕΚ 892/Β/11).

Παράμετροι	Ενδεικτικό επίπεδο	Ανώτατο επιτρεπτό όριο
Θερμοκρασία	12 ^{0}C	25 ^{0}C
pH	6,5≤pH≤8,5	
Αγωγιμότητα	400 μS/cm (στους 20 ^{0}C)	
Cl	25 mg/l	
SO_4	25 mg/l	250 mg/l
Mg	30 mg/l	50 mg/l
Na	20 mg/l	150 mg/l
K	10 mg/l	12 mg/l
Al	0,05 mg/l	0,2 mg/l
NO_3	25 mg/l	50 mg/l
NH_4	0,05 mg/l	0,5 mg/l
Fe	0,05 mg/l	0,2 mg/l
Mn	0,02 mg/l	0,05 mg/l
Cu		0,1 mg/l
Zn		0,1 mg/l
P (P_2O_5)	0,4 mg/l	5 mg/l
Ag		0,01 mg/l
As		0,05 mg/l
Cd		0,005 mg/l
Cr		0,05 mg/l
Hg		0,001 mg/l
Ni		0,05 mg/l
Pb		0,01 mg/l
Ca	100 mg/l	

9.7.3 Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για άρδευση

Σύμφωνα με τον *Καλλέργη* (2000) τα σταθερότυπα του αρδευτικού νερού βασίζονται (*Richards* 1954, *Wilcox* 1955, *Ayers* 1977, *Bouwer* 1977):

- Στην ολική συγκέντρωση αλάτων του νερού, διότι αυτή επιδρά στην καρποφορία, επηρεάζοντας την οσμωτική πίεση.
- Στη συγκέντρωση ορισμένων ιόντων τα μπορεί να είναι τοξικά στα φυτά ή να επιδρούν δυσμενώς στην ποιότητα της καρποφορίας.
- Στη συγκέντρωση των κατιόντων εκείνων που μπορεί να προκαλέσουν αποκροκίδωση της αργίλου στο έδαφος και να προξενήσουν έτσι βλάβη στη δομή του εδάφους και εξ αυτής μείωση της περατότητας και δυνατότητας αερισμού του.

Οι ποιοτικές απαιτήσεις για αρδευτικό νερό ποικίλουν ανάλογα με την αρδευόμενη περιοχή. Ένα αρδευτικό νερό που είναι μέτριο ή κακό για μια περιοχή μπορεί να είναι άριστο για κάποια άλλη και αντίστροφα. Γενικά, περιοχές καλά στραγγιζόμενες και καλά αεριζόμενες δέχονται αρδευτικό νερό με υψηλή αλατότητα, δηλαδή υψηλή τιμή TDS. Αντίθετα, περιοχές μη στραγγιζόμενες ή αεριζόμενες θέλουν αρδευτικό νερό φτωχό σε αλατότητα (*Σούλιος* 2006). Επιτακτική είναι η ανάγκη διατήρησης ενός «ισοζυγίου αλάτων» (salt balance). Τα διαλυμένα άλατα (TDS) που εισάγονται ετήσια στην περιοχή με το νερό της άρδευσης πρέπει να υπολείπεται του συνόλου των αλάτων που απομακρύνονται με το «στραγγιζόμενο νερό» (drainage water) (*Καλλέργης* 2000).

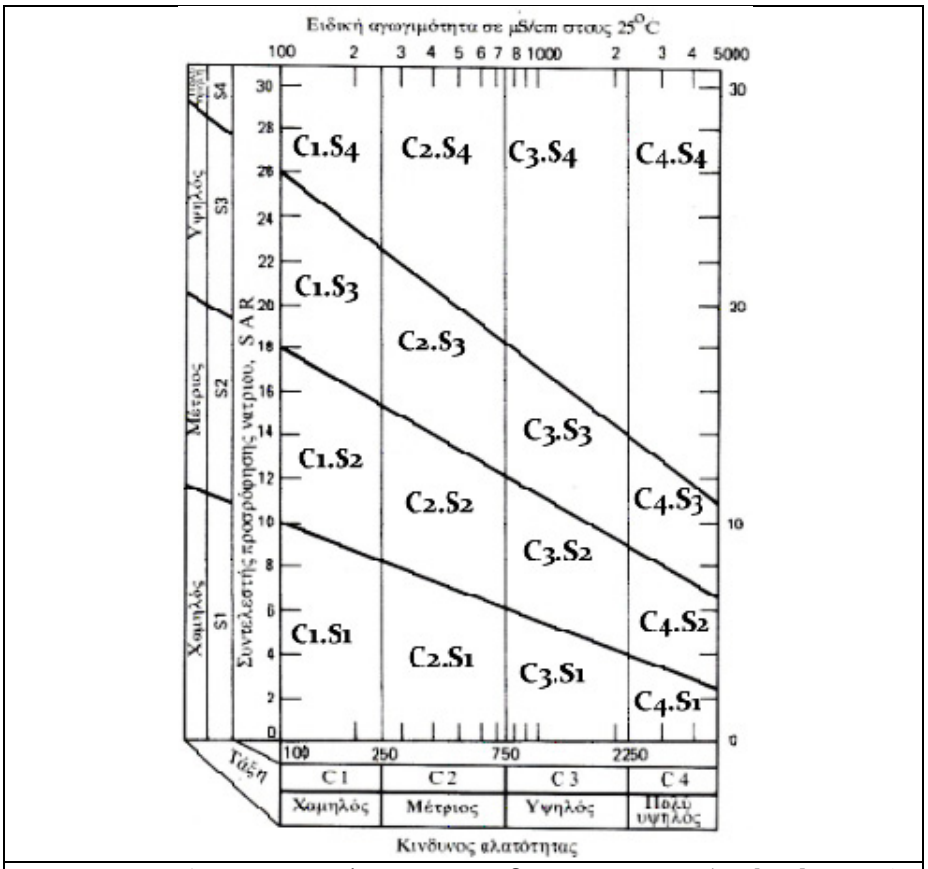
9.7.3.1 Ταξινόμηση κατά Richards

Ένα βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του νερού για άρδευση αποτελεί ο Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.: Sodium Absorption Ratio), ο οποίος εκφράζει τη σχέση μεταξύ των συγκεντρώσεων (meq/l) του Na^+ και των Ca^{2+}–Mg^{2+}. Έτσι λοιπόν ο συντελεστής *S.A.R.* υπολογίζεται από τη σχέση (*Βουδούρης* 2009, *Καλλέργης* 2000):

$$S.A.R. = Na / \sqrt{Ca + Mg /2}$$

Η τιμή του S.A.R. εκφράζει την ενεργητικότητα των ιόντων νατρίου και καθορίζει την ικανότητα εναλλαγής τους με κατιόντα όπως (Ca και Mg) που έχουν προσροφηθεί από τα κολλοειδή του εδάφους (*Τσακίρης* 2004). Το νάτριο επιπλέον έχει την δυνατότητα να δημιουργεί αποκροκίδωση του εδάφους κατά την ανταλλαγή των ιόντων, προκαλώντας μείωση του αερισμού και της περατότητας του εδάφους (*Καλλέργης* 2000).

Το διάγραμμα *Richards* (1954), προτάθηκε από το U.S. Salinity Laboratory και βασίζεται στο SAR και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Κατατάσσει τα νερά σε 16 κατηγορίες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών σύμφωνα με την ειδική αγωγιμότητα (μS/cm στους 25^{o}C). Η ταξινόμηση απεικονίζεται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα στο οποίο είναι τοποθετημένες οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το ποσοστό του προσροφημένου νατρίου του αρδευτικού νερού (Σχήμα 9.114).



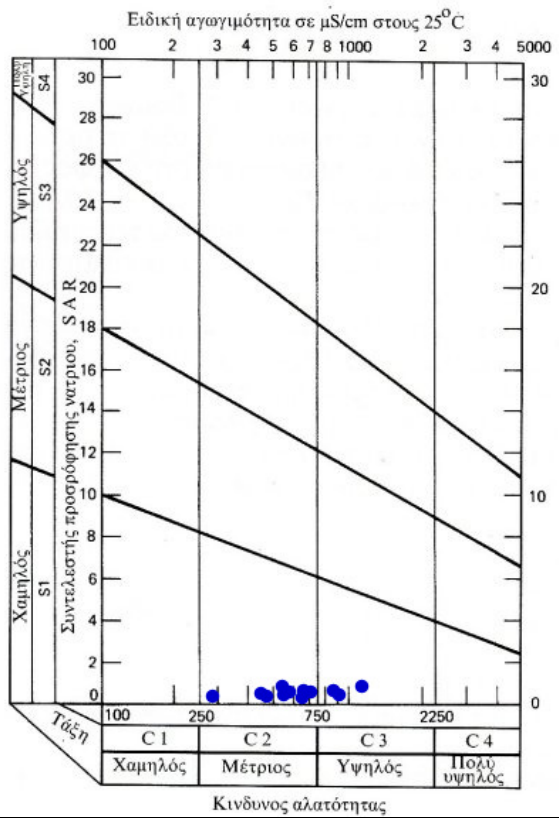
Σχήμα 9.114. Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών (Richards, 1954).

Για την ταξινόμηση των υπόγειων νερών του οροπεδίου Δομοκού, όσον αφορά στην καταλληλότητά τους για άρδευση, χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Richards. Με βάση αυτή την ταξινόμηση τα νερά κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες (*Καλλέργης* 2000) (Σχήματα 9.115α-γ):

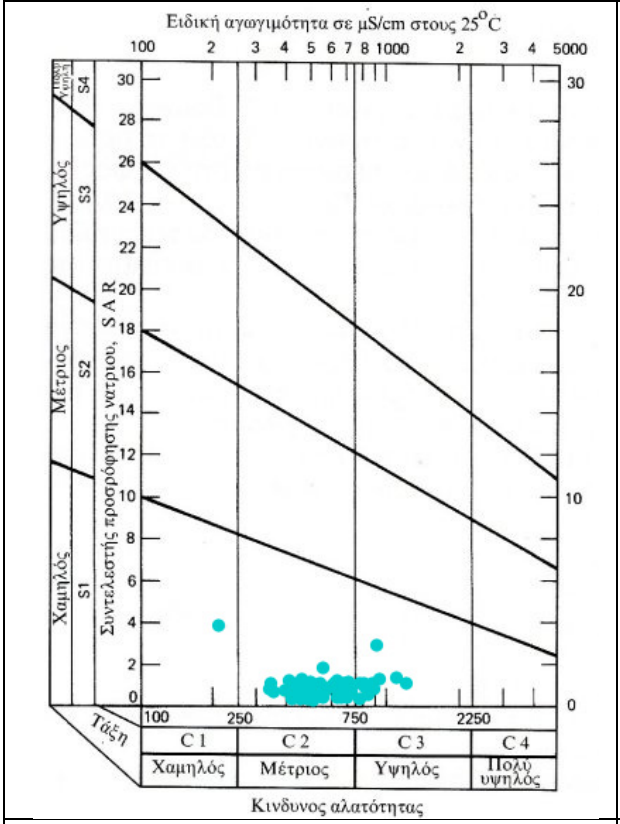
1) C1.S1: Νερό πολύ καλής ποιότητας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα και κατάλληλο για άρδευση. Στην κατηγορία αυτή ανήκει το δείγμα υγρής περιόδου Γ29(α).

2) C2.S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν νερά τα οποία παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας. Τα νερά αυτά απαιτούν εδάφη με μέτρια απόπλυση που στραγγίζονται καλά και φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα των πηγών Π1, Π3, Π4, Π5, Π6, Π7, Π8, Π9, Π11,

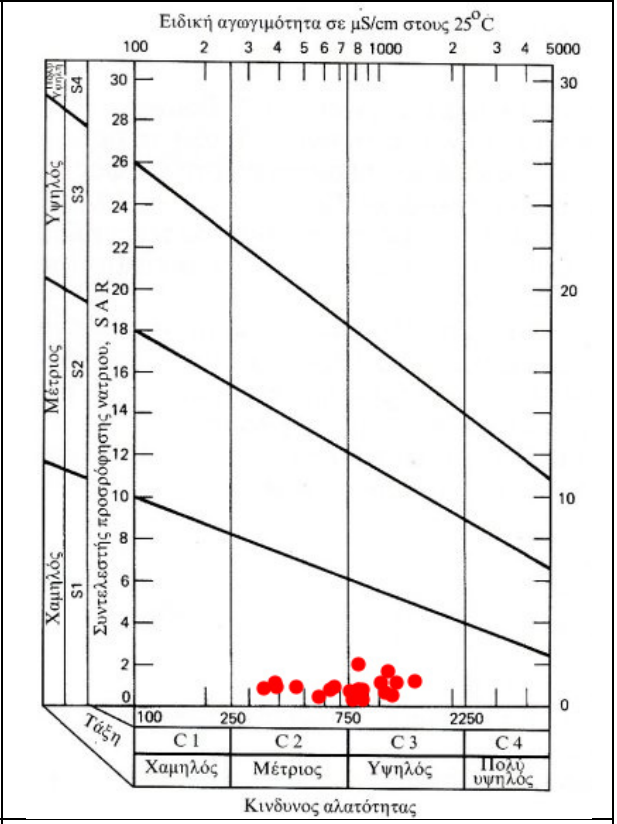
των γεωτρήσεων υγρής περιόδου Γ1(α), Γ2(α), Γ3(α), Γ4(α), Γ5(α), Γ6(α), Γ7(α), , Γ9(α), Γ10(α), Γ11(α), Γ12(α), Γ13(α), Γ14(α), Γ15(α), Γ16(α), Γ17(α), Γ19(α), Γ20(α), Γ21(α),



Σχήμα 9.115α Διάγραμμα Richards για τα δείγματα των πηγών.



Σχήμα 9.115β. Διάγραμμα Richards για τα δείγματα υγρής περιόδου.



Σχήμα 9.115γ Διάγραμμα Richards για τα δείγματα ξηρής περιόδου.

Γ22(α), Γ25(α), Γ26(α), Γ28(α), Γ30(α), Γ31(α), Γ32(α), Γ33(α), Γ34(α), Γ36(α), Γ38(α), Γ41(α), Γ42(α), Γ44(α), Γ45(α), Γ46(α), Γ47(α), Γ48(α), Γ49(α), Γ50(α), Γ51(α), Γ52(α), Γ53(α), Γ54(α), Γ56(α), Γ58(α) και των γεωτρήσεων ξηρής περιόδου Γ7(β), Γ9(β), Γ10(β), Γ20(β), Γ21(β), Γ26(β), Γ36(β), Γ49(β).

3) C3.S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν νερά τα οποία παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Είναι ακατάλληλα για καλλιέργεια ευαίσθητων φυτών και για άρδευση εδαφών με περιορισμένη στράγγιση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δείγματα των πηγών Π2, Π10, Π12, των γεωτρήσεων υγρής περιόδου Γ8(α), Γ18(α), Γ23(α), Γ24(α), Γ27(α), Γ35(α), Γ37(α), Γ39(α), Γ40(α), Γ43(α), Γ55(α), Γ57(α), Γ59(α) και των γεωτρήσεων ξηρής περιόδου Γ8(β), Γ11(β), Γ18(β), Γ22(β), Γ30(β), Γ34(β), Γ37(β), Γ40(β), Γ43(β), Γ45(β), Γ53(β), Γ57(β), Γ59(β).

Από το σύνολο των δειγμάτων και βάση του διαγράμματος Richards 1 δείγμα (ποσοστό 1,1%) ανήκει στην κατηγορία C1.S1, 62 δείγματα (ποσοστό 67,4%) ανήκουν στην κατηγορία C2.S1 και 29 δείγματα (ποσοστό 31,5%) στην κατηγορία C3.S1. Τα υπόγεια νερά του οροπεδίου Δομοκού παρουσιάζουν στο σύνολό τους μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης, ενώ είναι νερά που εμφανίζουν μέσο έως υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Η χωρική κατανομή τους ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR, για την υγρή και ξηρή περίοδο, απεικονίζονται στα σχήματα 9.116 και 9.117 αντίστοιχα.

9.8 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ

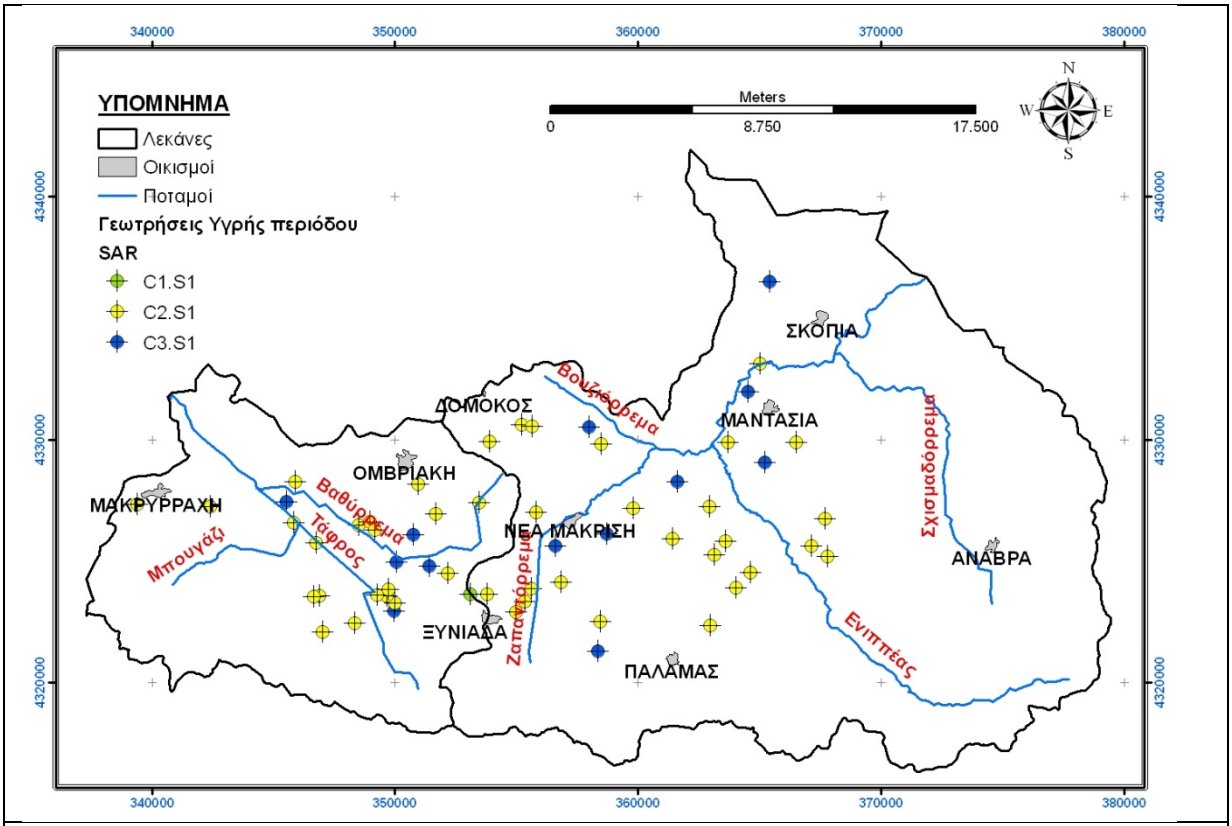
9.8.1 Γενικά

Οι ποταμοί αποτελούν συστήματα που περιλαμβάνουν τόσο το κύριο υδάτινο ρεύμα όσο και τους παραποτάμους τους. Μεταφέρουν στη ροή του νερού ένα σημαντικό φορτίο υπό διάλυση και σε διάφορες σωματιδιακές φάσεις, τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Το φορτίο κινείται προς τη ροή του νερού και υπόκειται σε εντατικούς χημικούς και βιολογικούς μετασχηματισμούς (*Goltermann* 1985, *Admiraal et al.* 1992).

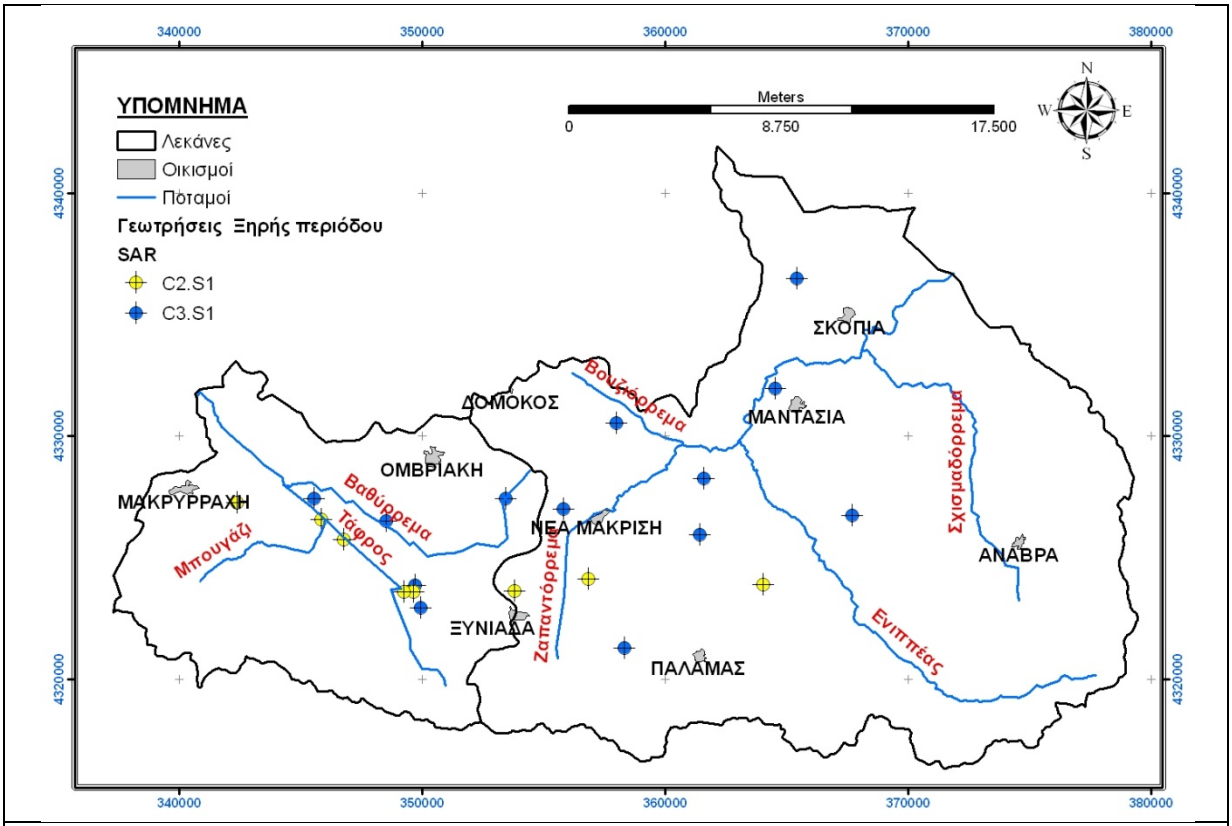
Τα νερά των ποταμών προέρχονται από κατακρημνίσεις και λιώσιμο χιονιού ή πάγων, ή είναι νερά υπερχείλισης υπόγειων υδροφόρων και απορροής. Η ποσότητα και η ποιότητα των νερών απορροής είναι σε άμεση συνάρτηση με τη γεωλογία και τις κλιματικές συνθήκες της λεκάνης από την οποία προέρχονται. Λεκάνες με ανθρακικά πετρώματα έχουν νερό απορροής σκληρό και καθαρό, ενώ λεκάνες με αδιαπέρατα πετρώματα όπως γρανίτες έχουν νερό μαλακό, ελαφρά όξινο και θολό λόγω των εναιωρήσει σωματιδίων που περιέχουν (*Gray* 1994).

Η σταθερότητα των οικοσυστημάτων των ποταμών ανατρέπεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως: α) αστικά και βιομηχανικά απόβλητα (*Karageorgis et al.* 2003, *Skoulikidis et al.* 2006, *Mirauda and Ostoich* 2011), β) γεωργικά λιπάσματα (ιδιαίτερα λιπάσματα αζώτου), καθώς οι σύγχρονες υψηλής απόδοσης καλλιέργειες απαιτούν την προσθήκη τους (*Vinten et al.* 1991, *Balopoulos and Friligos* 1993, *Friligos et al.* 1997, *Carpenter et al.* 1998, *Karamanos and Polyzonis* 1998, *Bellos et al.* 2004, *Zhu et al.* 2012) και γ) φυτοφάρμακα λόγω της μεγάλης ποικιλίας τους και της υψηλής τοξικότητας των διαθέσιμων παραγόντων τους (*Frank et al.* 1982, *Petach et al.* 1991, *Ng and Glegg* 1997, *Fenelon and Moore* 1998, *Charizopoulos and Papadopoulou-Mourkidou* 1999, *Konstantinou et al.* 2006). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η φυσική κατάσταση της ποιότητας των νερών ενός ποταμού σπάνια να διατηρείται. Μεταφέρεται έτσι ρυπαντικό φορτίο από τα επιφανειακά στα υπόγεια υδροσυστήματα, σε εκείνες τις περιοχές όπου η γεωμορφολογία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υπεδάφιου ορίζοντα το επιτρέπουν, συμβάλλοντας στην ποιοτική τους υποβάθμιση.

Η Ελλάδα λόγω της γεωλογικής της μορφολογίας χαρακτηρίζεται από μεγάλο πλήθος λεκανών απορροής που αποστραγγίζουν μικρά και μεσαία ποτάμια (*Skoulikidis et al.* 2009). Από την άποψη αυτή, στην περιοχή έρευνας ο Ενιππέας ποταμός και η τάφρος Ξυνιάδας



Σχήμα 9.116. Κατανομή των υπόγειων νερών υγρής περιόδου ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR.



Σχήμα 9.117. Κατανομή των υπόγειων νερών ξηρής περιόδου ως προς την καταλληλότητά τους για άρδευση, με βάση την ταξινόμησή τους κατά SAR.

χαρακτηρίζονται μικρά υδάτινα ρεύματα συνεχούς ροής.

9.8.2 Φυσικοχημικοί παράμετροι

Θερμοκρασία

Από το σύνολο των δειγμάτων του νερού στην παρούσα διατριβή οι υψηλότερες και χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στα επιφανειακά νερά. Η διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας στη λεκάνη Ξυνιάδας (σημείο Ε1) είναι από 6,4^{o}C μέχρι 21,2^{o}C με μέση ετήσια τιμή 14,7^{o}C και για τη λεκάνη Σκοπιάς (σημεία Ε2 και Ε3) από 6,9^{o}C μέχρι 24,8^{o}C με τη μέση τιμή της για όλο το έτος να είναι 16,0^{o}C (Σχήμα 9.118).

Οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται τον Ιούλιο και οι ελάχιστες τον Ιανουάριο για όλα τα σημεία, με εξαίρεση το σημείο Ε3 όπου η υψηλότερη θερμοκρασία παρατηρείται τον Ιούνιο. Οι διαφορές στη θερμοκρασία των νερών ανάμεσα στα δύο σημεία στη λεκάνη Σκοπιάς (Ε2>Ε3) οφείλονται στη μίξη των υδάτινων μαζών των συμβαλλόμενων Ενιππέα και Σχισμαδορέματος. Το τελευταίο πηγάζει από μεγαλύτερα υψόμετρα, έχει μικρότερη διαδρομή και επιπλέον διασχίζει δασικές εκτάσεις, όπου η παρόχθια βλάστηση είναι έντονη, με αποτέλεσμα μικρότερη θερμική αύξηση στο νερό.

Η διακύμανση των τιμών θερμοκρασίας στα δείγματα των επιφανειακών νερών ακολουθεί το χρονικό πρότυπο της διακύμανσης της θερμοκρασίας αέρα. Είναι γνωστό άλλωστε ότι οι θερμοκρασίες στα επιφανειακά νερά δείχνουν ημερήσιες και ετήσιες διακυμάνσεις που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα την ατμοσφαιρική θερμοκρασία (*Heath* 1964, *Keery et al.* 2006). Σε φυσικές συνθήκες, η θερμοκρασία του νερού παρουσιάζει υψηλότερες τιμές το χειμώνα και χαμηλότερες τιμές το καλοκαίρι, σε σχέση με τις τιμές του αέρα με μια διαφορά της τάξης των 3-5^{o}C (*Psilovikos et al.* 2006).

Στην παρούσα έρευνα οι καταγεγραμμένες τιμές θερμοκρασίας των επιφανειακών νερών και αέρα στο οροπέδιο συμπίπτουν το Δεκέμβριο και το Φεβρουάριο (Σχήμα 9.118). Η σύγκριση θερμοκρασίας νερού και αέρα δείχνει υψηλότερη μέση θερμοκρασία του νερού 0,9^{o}C για τη λεκάνη Ξυνιάδας και 2^{o}C για τη λεκάνη Σκοπιάς κατά τη χειμερινή περίοδο. Το καλοκαίρι οι θερμοκρασίες είναι 6,5^{o}C και 5,1^{o}C αντίστοιχα χαμηλότερες, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η υπόθεση της εισροής θερμών ρύπων στα ποτάμια δεν θεωρείται πιθανή.

pH

Η διακύμανση των τιμών του pH είναι για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 7,1 έως 8,4 με μέση τιμή 7,9 και για τη λεκάνη Σκοπιάς από 7,2 έως 8,5 με μέση τιμή 7,9. Οι αλκαλικές τιμές του pH παρατηρούνται κυρίως το καλοκαίρι και οι ουδέτερες το χειμώνα και σχετίζονται με εισροή NH_4^+, NO_3^- και PO_4^{3-} από την έκπλυση αγροχημικών (*Morse et al.* 1993, *Moustaka-Gouni and Nikolaidis* 1994, *Tryfon et al.* 1996). Οι τιμές του pH είναι ενδεικτικές ενός χαρακτήρα ελαφρώς αλκαλικού που σχετίζεται με τη λιθολογία της περιοχής, από όπου διέρχονται τα υδατορεύματα. Η διάσπαση ανθρακούχων οργανικών ουσιών εμπλουτίζουν το νερό με CO_2 συμβάλλοντας στην αύξηση της ανθρακικής σκληρότητας. Οι τιμές του pH, συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες τιμές των μεγαλυτέρων ποταμών της Ελλάδας, κινούνται σε παρόμοια επίπεδα (*Skoulikidis et al.* 1997, *Skoulikidis et al.* 2006).

Δυναμικό Οξειδοαναγωγής (Eh)

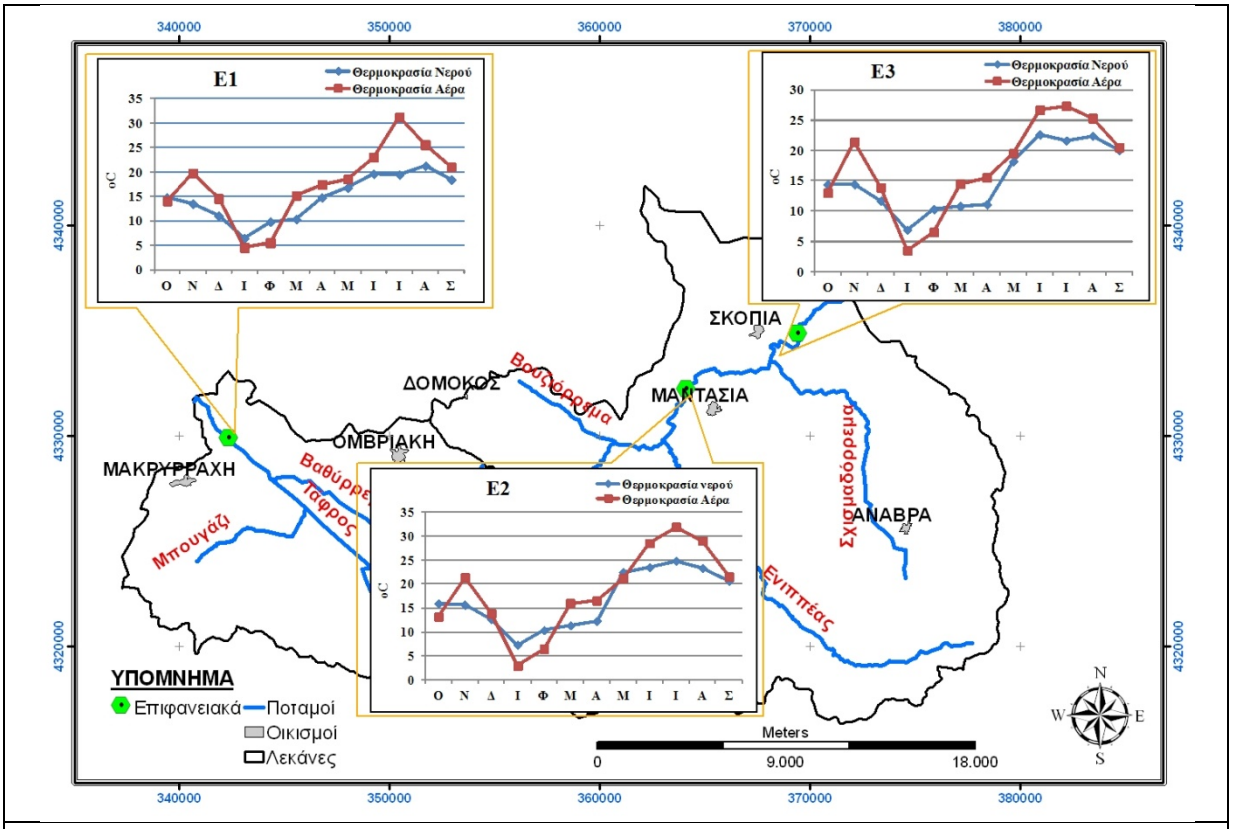
Η διακύμανση των τιμών του Eh σε mvolt για τη λεκάνη Ξυνιάδας είναι από 120,0 έως 293,8 με μέση τιμή 198,1 και για τη λεκάνη Σκοπιάς από 127,5 έως 292,7 με μέση τιμή 202,4. Οι τιμές του Eh δεν παρουσιάζουν αρνητικό πρόσημο λόγω της επάρκειας οξυγόνου. Το καλοκαίρι λόγω χαμηλότερων επιπέδων του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό παρατηρείται μικρή πτώση των τιμών. Οι τιμές του Eh των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες του Νέστου κινούνται σε χαμηλότερα επίπεδα (150-450 mvolt) (*Psilovikos et al.* 2006).

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε μS/cm κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από

Πίνακας 9.16. Αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων των δειγμάτων των επιφανειακών νερών της περιοχής δειγματοληψίας.

Δείγμα	Ημερ/νία	Θερ/σία T °C	EC μS/cm	Eh (mvolt)	pH	O_2 (mg/l)	O_2 (%)	CO_2 (mg/l)	Σκληρότητα (°dH)			ΚΑΤΙΟΝΤΑ (mg/l)				ΑΝΙΟΝΤΑ (mg/l)				PO_4 (mg/l)	NH_4 (mg/l)	F (mg/l)	Br (mg/l)	I_2 (mg/l)	ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ (ppm)									TDS (mg/l)
									Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3						Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	Co	
Επιφανειακά-Λεκάνη Ξυνιάδας																																	
E1	7/4/2010	14,7	810	272,5	8,0	7,7	92	180	32,4	26,3	6,0	82,4	90,5	17,4	1,3	573,4	7,1	149,2	14,1	0,23	0,18	0,48	0,30	0,23	0,088	0,039	<0,001	<0,001	0,045	0,092	<0,001	<0,001	<0,001	937,0
E1	19/5/2010	16,8	590	229,2	7,9	6,3	84	69	22,7	20,2	2,5	76	52,4	5,7	1,2	439,2	14,2	7,5	20,2	0,90	0,15	0,13	0,12	0,22	0,14	0,002	<0,001	0,011	<0,001	0,154	<0,001	<0,001	<0,001	618,0
E1	30/6/2010	19,6	668	152,6	8,2	6,5	95	76	25,2	23,5	1,7	32,8	89,5	5,2	2,0	512,4	14,2	29,8	17,6	0,66	0,25	0,20	0,12	0,11	0,121	0,005	<0,001	0,005	0,006	0,085	<0,001	<0,001	<0,001	705,0
E1	21/7/2010	19,4	588	170,8	8,3	6,4	90	85	22,9	23,0	0,0	28,8	82,1	4,1	1,5	500,2	14,2	13,8	18,9	0,60	0,19	0,15	0,12	0,12	0,176	0,002	<0,001	0,001	0,01	0,027	<0,001	<0,001	<0,001	665,0
E1	22/8/2010	21,2	648	120	8,4	7,6	101	94	22,0	20,7	1,3	20	83,6	4,9	1,3	451,4	10,6	3,7	16,3	0,34	0,17	0,00	0,09	0,23	0,182	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,166	<0,001	<0,001	<0,001	593,0
E1	21/9/2010	18,4	610	138,1	8,2	10,6	125	138	24,0	22,7	1,4	24,8	89,5	9	0,8	494,1	7,1	20,5	16,7	0,65	0,50	0,17	0,13	0,19	0,15	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	0,075	<0,001	<0,001	<0,001	664,5
E1	12/10/2010	14,7	787	158,5	7,9	8,1	96	133	25,2	24,1	1,1	56	75,3	21,2	15,3	524,6	21,3	23,2	13,6	1,72	10,58	0,32	0,17	0,31	0,112	0,021	<0,001	<0,001	<0,001	0,258	<0,001	<0,001	<0,001	764,0
E1	30/11/2010	13,5	921	131,3	8,4	9,2	110	142	31,1	26,6	4,5	59,2	99,3	15,9	2,0	579,5	10,6	70,0	20,2	0,62	0,70	0,47	0,09	0,13	0,281	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,196	<0,001	<0,001	<0,001	859,0
E1	27/12/2010	11	940	131,1	8,2	9,1	111	148	31,8	26,9	4,9	77,6	91,0	16,5	2,4	585,6	17,7	71,8	17,2	0,59	0,81	0,59	0,09	0,17	0,26	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,157	<0,001	<0,001	<0,001	882,5
E1	30/1/2011	6,4	889	286,3	7,4	8	98	130	30,9	26,6	4,3	56	100,3	17,4	0,9	579,5	14,2	39,7	14,5	0,49	0,39	0,20	0,02	0,21	0,206	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	0,247	<0,001	<0,001	<0,001	824,0
E1	23/2/2011	9,8	888	292,5	7,1	6,8	83	165	40,5	28,0	12,5	104	112,6	21,6	3,4	610	14,2	209,7	34,3	0,69	0,62	0,41	0,12	0,21	0,263	0,002	<0,001	<0,001	0,026	0,146	<0,001	<0,001	<0,001	1112,0
E1	12/3/2011	10,3	755	293,8	7,3	9,1	109	94	28,0	20,2	7,8	97,6	62,2	20,3	1,8	439,2	14,2	131,2	35,6	0,61	0,34	0,39	0,17	0,26	0,175	0,001	<0,001	<0,001	0,071	0,176	<0,001	<0,001	<0,001	804,0
Μέση Τιμή		14,7	757,8	198,1	7,9	7,9	99,5	121,2	28,1	24,1	4,0	59,6	85,7	13,3	2,8	524,1	13,3	64,2	20,0	0,67	1,24	0,29	0,13	0,20	0,180	0,007	0,001	0,002	0,014	0,148	0,001	0,001	0,001	785,7
Τυπική Απόκλιση		4,6	133,7	71,0	0,5	0,5	12,4	36,4	5,5	2,8	3,5	28,6	16,5	6,9	4,0	61,1	4,0	65,9	7,4	0,37	2,95	0,18	0,07	0,06	0,063	0,011	0,000	0,003	0,023	0,069	0,000	0,000	0,000	150,0
Ελάχιστη Τιμή		6,4	588,0	120,0	7,1	7,1	83,0	69,0	22,0	20,2	0,0	20,0	52,4	4,1	0,8	439,2	7,1	3,7	13,6	0,23	0,15	0,00	0,02	0,11	0,088	0,001	0,001	0,001	0,001	0,027	0,001	0,001	0,001	593,0
Μέγιστη Τιμή		21,2	940,0	293,8	8,4	8,4	125,0	180,0	40,5	28,0	12,5	104,0	112,6	21,6	15,3	610,0	21,3	209,7	35,6	1,72	10,58	0,59	0,30	0,31	0,281	0,039	0,001	0,011	0,071	0,258	0,001	0,001	0,001	1112,0
Επιφανειακά-Λεκάνη άνω ρου Ενιππέα																																	
E2	7/4/2010	12,3	501	272	8,1	8,6	102	90	19,0	16,8	2,2	92	26,6	18,4	1,1	366	24,8	46,5	23,8	0,28	0,05	0,54	0,04	0,17	0,154	0,005	<0,001	<0,001	0,024	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	601,0
E3		11,1	448	260,6	8,2	8,1	96	70	16,7	15,4	1,3	85,6	20,7	15,3	0,9	335,5	21,3	39,6	26,8	0,08	0,05	0,56	0,03	0,06	0,165	0,012	<0,001	<0,001	0,015	0,062	<0,001	<0,001	<0,001	547,0
E2	19/5/2010	22,5	668	219	8,1	8,4	107	58	19,8	16,0	3,8	94,4	28,5	18,3	0,9	347,7	24,8	45,6	39,2	0,32	0,12	0,20	0,00	0,00	0,158	0,001	<0,001	0,015	0,033	0,061	<0,001	<0,001	<0,001	600,5
E3		18,2	565	221,9	8,0	8,1	106	67	17,5	14,3	3,3	90,4	21,2	17	0,7	311,1	24,8	37,8	33,9	0,39	0,09	0,19	0,27	0,44	0,197	0,001	<0,001	0,011	0,03	0,093	<0,001	<0,001	<0,001	538,5
E2	30/6/2010	23,5	711	163,2	8,0	7,1	99	76	20,6	16,8	3,8	102,4	27,1	20,2	1,0	366	28,4	48,6	43,6	0,36	0,06	0,15	0,11	0,13	0,192	<0,001	<0,001	0,006	0,035	0,103	<0,001	<0,001	<0,001	638,5
E3		22,6	525	163,9	8,0	6,9	93	74	15,4	13,4	2,0	81,6	17,3	12,7	1,1	292,8	21,3	28,3	23,3	0,41	0,08	0,14	0,14	0,35	0,181	0,005	<0,001	0,01	0,012	0,123	<0,001	<0,001	<0,001	480,0
E2	21/7/2010	24,8	735	181,3	8,0	6,3	89	65	20,3	16,5	3,8	100,8	27,1	21,6	1,0	359,9	28,4	50,0	40,5	0,48	0,05	0,13	0,08	0,11	0,097	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,038	<0,001	<0,001	<0,001	630,5
E3		21,6	507	174,8	8,2	6,5	92	55	15,2	12,6	2,6	81,6	16,3	13,1	1,4	274,5	21,3	22,4	26,4	0,47	0,03	0,15	0,08	0,09	0,121	0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,073	<0,001	<0,001	<0,001	458,0
E2	22/8/2010	23,3	740	157,1	7,8	7,6	102	106	19,6	12,9	6,7	100	24,1	21,6	1,2	280,6	31,9	57,7	40,0	0,26	0,01	0,15	0,11	0,16	0,095	<0,001	<0,001	0,001	0,018	0,161	<0,001	<0,001	<0,001	558,0
E3		22,4	551	142,2	8,0	7,5	99	46	15,2	11,8	3,4	81,6	16,3	14,9	1,6	256,2	28,4	26,5	27,3	0,17	0,00	0,12	0,14	0,17	0,16	0,011	<0,001	<0,001	0,004	0,115	<0,001	<0,001	<0,001	453,5
E2	21/9/2010	20,7	668	166,6	7,7	11,2	132	82	20,6	16,5	4,0	103,2	26,6	27,4	1,1	359,9	7,1	48,4	43,1	0,15	0,14	0,27	0,04	0,08	0,138	<0,001	<0,001	0,02	<0,001	0,078	<0,001	<0,001	<0,001	618,0
E3		20	523	164,9	7,9	10,7	126	64	15,6	12,0	3,6	80	19,2	21,4	0,4	262,3	10,6	38,7	33,4	0,19	0,04	0,22	0,04	0,08	0,14	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,038	<0,001	<0,001	<0,001	467,0
E2	12/10/2010	16	771	162,7	7,9	10,8	128	98	21,4	16,2	5,1	109,6	26,1	26	0,6	353,8	28,4	47,5	40,9	0,26	0,32	0,23	0,05	0,08	0,127	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,115	<0,001	<0,001	<0,001	634,0
E3		14,4	503	157,8	8,2	10,1	121	68	15,8	13,2	2,7	87,2	15,8	19	0,2	286,7	24,8	9,6	36,1	0,58	0,19	0,16	0,40	0,66	0,135	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,134	<0,001	<0,001	<0,001	482,0
E2	30/11/2010	15,7	753	146	8,5	9,1	120	88	21,5	16,2	5,2	108,8	27,1	28	0,4	353,8	28,4	45,6	40,0	0,25	0,14	0,50	0,03	0,06	0,418	0,002	<0,001	0,002	0,262	0,121	0,102	<0,001	<0,001	633,5
E3		14,4	610	143,1	8,2	10,2	117	63	16,9	13,2	3,7	92,8	16,8	22,3	0,8	286,7	28,4	37,9	29,9	0,17	0,12	0,43	0,04	0,08	0,268	0,001	<0,001	0,001	0,082	0,034	<0,001	<0,001	<0,001	517,0
E2	27/12/2010	12,7	788	127,5	8,2	9,3	110	93	22,6	17,1	5,5	113,6	29,0	28,5	0,4	372,1	31,9	38,9	39,6	0,22	0,17	0,45	0,09	0,16	0,187	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,039	<0,001	<0,001	<0,001	655,5
E3		11,7	662	129	8,3	8,9	106	66	18,9	14,3	4,6	98,4	22,2	23,8	0,6	311,1	28,4	30,8	30,8	0,14	0,10	0,47	0,12	0,22	0,221	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,183	<0,001	<0,001	<0,001	547,5
E2	30/1/2011	7,3	740	292,7	7,3	9,3	111	90	21,8	17,4	4,4	91,2	39,3	32	5,9	378,2	31,9	37,6	34,8	0,44	0,22	0,33	0,01	0,09	0,2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,107	<0,001	<0,001	<0,001	652,0
E3		6,9	650	285,9	7,2	7	84	86	19,3	16,0	3,4	96,8	25,1	24,6	3,2	347,7	21,3	56,1	28,6	1,00	0,26	0,25	0,05	0,12	0,198	0,014	<0,001	<0,001	<0,001	0,027	0,03	<0,001	<0,001	605,5
E2	23/2/2011	10,4	471	284,8	7,5	9,2	111	74	16,6	14,0	2,6	80	23,6	19,3	1,4	305	17,7	40,4	24,2	0,34	0,25	0,16	0,25	0,50	0,265	0,003	<0,001	<0,001	0,005	0,092	<0,001	<0,001	<0,001	513,5
E3		10,3	422	281,3	7,6	9,1	112	64	15,5	13,4	2,1	90,4	12,4	15,2	1,6	292,8	17,7	19,4	20,2	0,36	0,26	0,01	0,30	0,54	0,141	0,005	<0,001	<0,001	0,014	0,057	<0,001	<0,001	<0,001	471,5
E2	12/3/2011	11,4	480	283,1	7,6	8,7	105	66	15,8	13,7	2,1	75,2	23,1	19,4	1,2	298,9	21,3	28,8	24,6	0,29	0,18	0,19	0,04	0,32	0,218	0,001	<0,001	<0,001	0,036	0,063	<0,001	<0,001	<0,001	494,0
E3		10,8	459	275,4	7,6	8,6	105	55	15,5	13,4	2,1	84,8	15,8	15,3	1,6	292,8	14,2	8,3	25,5	0,37	0,19	0,10	0,15	0,29	0,237	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,095	<0,001	<0,001	<0,001	460,0
Μέση Τιμή		16,0	602,1	202,4	7,9	8,6	107,2	73,5	18,2	14,7	3,5	92,6	22,8	20,6	1,3	320,5	23,6	37,1	32,4	0,33	0,13	0,25	0,11	0,21	0,184	0,003	0,001	0,004	0,024	0,085	0,006	0,001	0,001	552,4
Τυπική Απόκλιση		5,6	118,3	60,0	0,3	1,4	12,4	15,1	2,5	1,8	1,3	10,5	6,0	5,2	1,2	38,4	6,6	13,2	7,3	0,19	0,09	0,15	0,10	0,18	0,069	0,004	0,000	0,005	0,054	0,043	0,021	0,000	0,000	71,3
Ελάχιστη Τιμή		6,9	422,0	127,5	7,2	6,3	84,0	46,0	15,2	11,8	1,3	75,2	12,4	12,7	0,2	256,2	7,1	8,3	20,2	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,095	0,001	0,001	0,001	0,001	0,020	0,001	0,001	0,001	453,5
Μέγιστη Τιμή		24,8	788,0	292,7	8,5	11,2	132,0	106,0	22,6	17,4	6,7	113,6	39,3	32,0	5,9	378,2	31,9	57,7	43,6	1,00	0,32	0,56	0,40	0,66	0,418	0,014	0,001	0,020	0,262	0,183	0,102	0,001	0,001	655,5



Σχήμα 9.118. Οι Θερμοκρασίες επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες αέρα.

588 έως 940 με μέση τιμή 757,8 και για τη λεκάνη Σκοπιάς από 422 έως 788 με μέση τιμή 602,1 μS/cm. Η διαφορά της EC ανάμεσα στις δύο λεκάνες έχει σαν αιτία τα πετρώματα από τα οποία διέρχονται τα επιφανειακά νερά και τις ανθρωπογενείς επιδράσεις. Στην αποστραγγιστική τάφρο, το CO_2 που παράγεται από την διάσπαση της οργανικής ύλης και τα αργιλικά ιζήματα στην έντονα καλλιεργήσιμη λεκάνη Ξυνιάδας εμπλουτίζουν το βρόχινο νερό με ιόντα και ιχνοστοιχεία, με αποτέλεσμα την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η δεύτερη υπόθεση εξηγεί και τις υψηλότερες τιμές της EC στην Μαντασιά (E2>E3) σε σχέση με τη Σκοπιά, καθώς ο Ενιππέας διέρχεται από αγροτικές εκτάσεις, σε αντίθεση με το Σχισμαδόρεμα που διασχίζει δασικές εκτάσεις της Όθρυος.

Οι υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρούνται από το Νοέμβριο έως τον Ιανουάριο και αποδίδονται στην έκπλυση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων από τις αγροτικές εκτάσεις (*Bellos and Sawidis* 2005). Οι τιμές της EC είναι πολύ υψηλότερες από τον Αλιάκμονα στη θέση Πισοδέρι (40 μS/cm) και του Μέλα ποταμού (65,3 μS/cm) και κινούνται σε παρόμοια επίπεδα με του Ονόχωνου (759 μS/cm) (*Stamatis* 1999), του Αλφειού (655,3 μS/cm) και του Σιανίτη (740 μS/cm) (*Skoulikidis et al.* 2006).

Συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Στα δείγματα των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού οι τιμές των TDS κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 593 έως 1.112 mg/l με μέση τιμή 785,7 mg/l. Για τη λεκάνη Σκοπιάς η διακύμανση των TDS είναι από 453,5 έως 655,5 mg/l με μέση τιμή 552,4 mg/l και ακολουθούν τη σειρά E2>E3. Οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των δυο λεκανών και μεταξύ των σημείων σχετίζονται κυρίως με τη λιθολογία τους και ιδιαίτερα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες (*Charizopoulos et al.* 2011).

Οι υψηλότερες τιμές των TDS εμφανίζονται κατά την υγρή περίοδο, ενώ κατά την ξηρή περίοδο οι τιμές περιορίζονται σημαντικά. Η αύξηση της βροχόπτωσης το χειμώνα αυξάνει το ρυθμό εισροής χερσογενών υλικών και αλάτων στο νερό των ποταμών. Αντίθετα το καλοκαίρι η μείωση των αλάτων στην υδάτινη στήλη αποδίδεται στη μείωση της παροχής

των ποταμών. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε αντίθεση με την άποψη της επιστροφής του νερού άρδευσης σε ξηρές και ημίξηρες κλιματικές συνθήκες, η οποία προκαλεί εμπλουτισμό των υδατορευμάτων κατά την κατάντη με ολικά διαλυμένα άλατα (*Αντωνόπουλος* 1995). Πιθανά αυτό πρέπει να συμβαίνει γιατί η εδαφική υγρασία στην περιοχή έρευνας δεν πρέπει να έφτασε ποτέ σε περιοριστικά επίπεδα, έτσι ώστε η άρδευση λόγω εξάτμισης να εμπλουτίσει το εδαφικό διάλυμα με άλατα.

Οι συγκεντρώσεις των TDS συγκρινόμενες, κινούνται στα ίδια υψηλά επίπεδα με τον Πηνειό (400-632 mg/l) (*Stamatis* 1999), τον Καλαμά και το Λούρο (>350 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 2006) και σε υψηλότερα επίπεδα από το Αρκουδόρεμα (<100 mg/l) και τον Αωό (150-250 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 2006). Η εξήγηση για τη δεύτερη παρατήρηση σχετίζεται με το μεγαλύτερο όγκο νερού που μεταφέρουν οι μεγάλοι ποταμοί και αραιώνει τις συγκεντρώσεις των αλάτων καθώς και γιατί διαλύονται πετρώματα με διαφορετική σύσταση στα υποστρώματά τους.

Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Οι τιμές διαλυμένου οξυγόνου κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 7,1 έως 8,4 mg/l με μέση τιμή 7,9 mg/l. Τα αντίστοιχα επίπεδα κορεσμού είναι 83% έως 125% με μέση τιμή 99,5%. Για τη λεκάνη της Σκοπιάς η διακύμανση είναι από 6,3 mg/l έως 11,2 mg/l με μέση τιμή 8,6 mg/l και των επιπέδων κορεσμού από 84% έως 132% με μέση τιμή 107,2%.

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και τα επίπεδα κορεσμού του δεν εμφάνισαν ποτέ συνθήκες έλλειψης κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών, ενώ δεν εμφανίστηκε επίσης κάποια διαφοροποίηση μεταξύ των λεκανών. Αυτό προφανώς είναι το αποτέλεσμα του εμπλουτισμού του νερού μέσω διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου της φωτοσύνθεσης των υδρόβιων φυτών. Επιπλέον είναι γνωστό ότι το νερό των κατακρημνισμάτων είναι κορεσμένο σε οξυγόνο. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται το χειμώνα και οι χαμηλότερες το καλοκαίρι καθώς οι χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τη διαλυτότητα του οξυγόνου. Ένας επιπλέον παράγοντας μείωσης του διαλυμένου οξυγόνου είναι η οξείδωση αζωτούχων οργανικών ενώσεων και οργανικών ιζημάτων του πυθμένα των ποταμών. Η συσσώρευση τους αυξάνει το καλοκαίρι λόγω μείωσης της παροχής.

Οι τιμές διαλυμένου οξυγόνου και των αντίστοιχων επιπέδων κορεσμού στην περιοχή έρευνας κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα με των περισσοτέρων ποταμών της Ελλάδας (διακύμανση από 6,5 έως 12,7 mg/l και 68,7% έως 115,7% αντίστοιχα) (*Skoulikidis et al.* 2006).

Διοξείδιο Άνθρακα (CO_2)

Οι τιμές διαλυμένου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 69 έως 180 mg/l με μέση τιμή 121,2 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 46 έως 106 mg/l με μέση τιμή 73,5 mg/l. Τα υψηλά επίπεδα CO_2 σχετίζονται με τα πλούσια σε $CaCO_3$ εδάφη της περιοχής έρευνας, ενώ επιπλέον οφείλονται στο βρόχινο νερό που περιέχει CO_2 ατμοσφαιρικής προέλευσης, ή είναι CO_2 λόγω οξείδωσης οργανικού φορτίου. Η τελευταία παρατήρηση υποδεικνύει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις CO_2 στα νερά της λεκάνης Ξυνιάδας οφείλονται στην παρουσία οργανικών εξαιτίας της πρώην λίμνης. Επιπλέον, στα μικρά έως μεσαία σε μέγεθος ποτάμια της Ελλάδος όπως αυτά στην περιοχή έρευνας, η παρουσία του CO_2 αποδίδεται στις διαδικασίες αναπνοής, φωτοσύνθεσης, στην εισροή από υπερκορεσμένα σε CO_2 υπόγεια ύδατα και στην παρουσία ανθρακικών σχηματισμών (*Skoulikidis et al.* 2006).

Σκληρότητα (^{o}dH)

Ολική σκληρότητα

Στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας η διακύμανση της ολικής σκληρότητας είναι από 22 έως 40,5 ^{o}dH με μέση τιμή 28,1 ^{o}dH για τη λεκάνη της Ξυνιάδας και από 15,2 έως 22,6 ^{o}dH με μέση τιμή 18,2 ^{o}dH για τη λεκάνη Σκοπιάς. Τα νερά και για τις δύο λεκάνες χαρακτηρίζονται σκληρά, γεγονός που σχετίζεται με τη λιθολογία του οροπεδίου Δομοκού.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί στη λεκάνη της Σκοπιάς και τα οφιολιθικά συμπλέγματα στη λεκάνη της Ξυνιάδας είναι περιοχές από τις οποίες πηγάζουν τα υδατορεύματα. Επιπλέον, οι περιοχές με τα τεταρτογενή ασβεστολιθικής και οφιολιθικής προέλευσης ιζήματα που διασχίζουν τα ποτάμια συμβάλλουν με την διάλυσή τους στην αυξημένη σκληρότητα των νερών του οροπεδίου. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και ο *Skoulikidis* (1993) καθώς διαπίστωσε το ίδιο σκληρά νερά στον Αλιάκμονα, στον Πηνειό, στο Σπερχειό και στον άνω ρου του Αώου, τα οποία και απέδωσε στον εμπλουτισμό των νερών με $MgCO_3$ από βασικά πετρώματα.

Μόνιμη σκληρότητα

Η διακύμανση της μόνιμης σκληρότητας στα επιφανειακά νερά είναι στη λεκάνη Ξυνιάδας από 0,0 έως 12,4 ^{o}dH με μέση τιμή 4,0 ^{o}dH και στη λεκάνη της Σκοπιάς από 1,3 έως 6,7 ^{o}dH με μέση τιμή 3,5 ^{o}dH. Οι μεγαλύτερες τιμές της μόνιμης σκληρότητας στη λεκάνη της Ξυνιάδας σχετίζονται με την παρουσία στα νερά της θειικής ρίζας (SO_4^{-2}) λόγω οργανικών και της ορυκτολογικής σύστασης της περιοχής. Η οξείδωση σιδηροπυρίτη στους οφιόλιθους παράγει SO_4^{-2} συμβάλλοντας στην αύξηση της μόνιμης σκληρότητας.

9.8.3 Κύρια στοιχεία

Κατιόντα

Ασβέστιο (Ca^{2+})

Οι τιμές των Ca^{2+} στα επιφανειακά νερά κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 20 έως 104 mg/l με μέση τιμή 59,6 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 75,2 έως 113,6 mg/l, με μέση τιμή 92,6 mg/l (Σχήμα 9.119). Από το σύνολο των δειγμάτων ένα δείγμα στη λεκάνη Ξυνιάδας και 7 δείγματα στο σημείο της Μαντασιάς έχουν τιμές ασβεστίου πάνω από το ενδεικτικό επίπεδο των 100 mg/l για τα πόσιμα νερά. Οι τιμές Ca^{2+} οφείλονται στη διάλυση ορυκτών πλουσίων σε ασβέστιο. Υπάρχουν εντός των σχηματισμών, οι οποίοι τροφοδοτούν τα υδάτινα ρεύματα του οροπεδίου και στη διάβρωση επίσης των τεταρτογενών και ανθρακικών σχηματισμών των ποτάμιων υποστρωμάτων. Η τελευταία διαπίστωση επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι οι υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στα υδατορεύματα που διασχίζουν τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η μέση τιμή συγκέντρωσης Ca^{2+} στην τάφρο Ξυνιάδας κινείται σε παρόμοια επίπεδα με την αντίστοιχη μέση τιμή στο Σπερχειό (77,8 mg/l), στο Γαλλικό (62,4 mg/l) και στον Πηνειό (61,2 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 1997). Του Ενιππέα παρόμοια με το Λούρο (91,6 mg/l), τον Καλαμά (100 mg/l) και τον Αλφειό (118,2 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 2006).

Μαγνήσιο (Mg^{2+})

Οι τιμές Mg^{2+} κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 52,4 έως 112,6 mg/l με μέση τιμή 85,7 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 12,4 έως 39,3 mg/l με μέση τιμή 22,8 mg/l (Σχήμα 9.119). Από το σύνολο των δειγμάτων όλα τα δείγματα της Τάφρου εμφανίζουν τιμές πάνω από το όριο ποσιμότητας των 50 mg/l της Ε.Ε.. Σε αντίθεση μόνο ένα από τα δείγματα του Ενιππέα είναι εντός των ορίων ποσιμότητας, με τη μεγάλη πλειοψηφία των υπολοίπων να παρουσιάζουν τιμές κάτω από το ενδεικτικό επίπεδο των 30mg/l.

Οι υψηλές τιμές στα δείγματα της Τάφρου σχετίζονται με τα πλούσια σε Mg^{2+} οφιολιθικά ποτάμια υποστρώματα, καθώς και στα πετρώματα που την τροφοδοτούν στα δυτικά και νοτιοδυτικά περιθώρια του οροπεδίου. Αντίθετα στον Ενιππέα, οι χαμηλές τιμές οφείλονται στη χαμηλή περιεκτικότητα του στοιχείου στα υποστρώματα των ποταμών και στους ανθρακικούς σχηματισμούς από όπου πηγάζουν. Η μέση τιμή Mg^{2+} στην Τάφρο Ξυνιάδας κινείται σε παρόμοια επίπεδα με την προέκταση της στον Ονόχωνο (θέση Καίτσα) (84,18 mg/l) και σε υψηλότερα από το Σιανίτη (55,1 mg/l) και τον Ονόχωνο (θέση Θραψίμι) (45,6 mg/l). Η αντίστοιχη μέση τιμή Mg^{2+} στον Ενιππέα κινείται σε παρόμοια επίπεδα με τον Αωό (15 mg/l) και το Κοκόρεμμα (28,3 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 2006).

Νάτριο (Na^{+})

Η διακύμανση των Na^+ είναι για την Ξυνιάδα από 4,1 mg/l έως 21,6 mg/l με μέση τιμή 13,3 και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 12,7 mg/l έως 32,0 mg/l με μέση τιμή 20,6 mg/l (Σχήμα 9.119). Οι τιμές Na^+ στα επιφανειακά νερά οφείλονται στη διάλυση διαφόρων νατριούχων ορυκτών που υπάρχουν στα υποστρώματα των υδατορευμάτων. Οι συγκεντρώσεις των Na^+ κινούνται και για τις δύο λεκάνες σε χαμηλά επίπεδα. Είναι γνωστό άλλωστε, ότι οι τιμές των Na και Cl στο νερό των βροχοπτώσεων και των επιφανειακών υδάτων μειώνονται σημαντικά με την απόσταση από την ακτή (*Reimann et al*. 2009). Οι μέσες τιμές του Νατρίου είναι συγκρίσιμες με του Μαυρορέματος (14,1 mg/l), του Καλαμά 17,1 mg/l και του Ονόχωνου στη θέση Σμόκοβο (19,6 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 2006).

Κάλιο (K^+)

Οι τιμές K^+ κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 0,8 έως 15,3 mg/l με μέση τιμή 2,8 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 0,2 έως 5,9 mg/l με μέση τιμή 1,3 mg/l (Σχήμα 9.119). Οι τιμές των K^+ κινούνται και για τις δύο λεκάνες σε χαμηλά επίπεδα. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η τιμή των 15,3 mg/l τον Οκτώβριο στην Τάφρο η οποία και οφείλεται σε ανθρωπογενής επίδραση με πιθανότερη αιτία την χρήση λιπασμάτων.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των K^+ και για τις δύο λεκάνες παρατηρούνται κατά την χειμερινή περίοδο. Αυτό πιθανά συμβαίνει γιατί οι συγκεντρώσεις των K^+ παρουσιάζουν εποχικές διακυμάνσεις. Τη θερινή περίοδο οι συγκεντρώσεις είναι χαμηλές και τη χειμερινή υψηλές, λόγω βιολογικής πρόσληψης και υψηλής αποσύνθεσης οργανικής ύλης στον εδαφικό μανδύα (*Καλλέργης* 2000). Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων καλίου κινούνται σε παρόμοια επίπεδα με αυτές του Σπερχειού και του Νέστου (2,73 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 1997).

Οξυανθρακικά (HCO_3^-)

Τα Οξυανθρακικά ιόντα (HCO_3^-) κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 439,2 έως 610,0 mg/l με μέση τιμή 524,1 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς, από 256,2 έως 378,2 mg/l με μέση τιμή 320,5 mg/l (Σχήμα 9.119). Οι διαφορές των τιμών ανάμεσα στις δύο λεκάνες οφείλονται στην ύπαρξη οργανικού φορτίου στη λεκάνη Ξυνιάδας εξαιτίας του πρώην λιμναίου περιβάλλοντος. Οι υψηλότερες τιμές στην Τάφρο παρατηρούνται το χειμώνα και οι χαμηλότερες το καλοκαίρι. Το χειμώνα από τις βροχοπτώσεις έχουμε υπερκορεσμό του υδροφόρου με αποτέλεσμα διάχυτες εκφορτίσεις νερού και ανάδυση οργανικού υλικού και προϊόντων αποσύνθεσής του από τα βαθύτερα στρώματα της αποξηραμένης λίμνης. Το νερό αυτό απορρέει επιφανειακά και υπόγεια μέσω πλευρικών διηθήσεων στην αποστραγγιστική τάφρο και αυξάνει τα επίπεδα HCO_3^-. Αντίθετα το καλοκαίρι η χαμηλή ροή ευνοεί τις διαδικασίες ιζηματογένεσης και καθίζησης των ανθρακικών αλάτων με αποτέλεσμα τη μείωση των συγκεντρώσεών τους.

Οι μέσες συγκεντρώσεις των οξυανθρακικών ιόντων στην περιοχή έρευνας κινούνται σε υψηλότερα επίπεδα από τον Έβρο (179 mg/l), το Νέστο (137 mg/l), το Λούρο (175mg/l), τον Αλιάκμονα (226mg/l), τον Πηνειό (264 mg/l) και το Σπερχειό (273 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 1997). Η εξήγηση για αυτό είναι η ύπαρξη υψηλότερου οργανικού φορτίου στην περιοχή έρευνας και η αραίωση των ανθρακικών αλάτων στα μεγάλα ποτάμια από μεγαλύτερο όγκο νερού.

Χλώριο (Cl^-)

Οι τιμές ιόντων Cl^- κυμαίνονται στην Τάφρο από 7,1 έως 21,3 mg/l με μέση τιμή 13,3 mg/l και στον Ενιππέα από 7,1 έως 31,9 mg/l με μέση τιμή 23,6 mg/l (Σχήμα 9.119). Οι τιμές χλωρίου κινούνται σε χαμηλά επίπεδα και λόγω της αραίωσής τους στο νερό των υδατορευμάτων. Η παρουσία του στοιχείου έχει σχέση με γεωγενή αίτια δεδομένου ότι έχει αποκλειστεί η σύνδεσή τους με την θάλασσα λόγω της μεγάλης απόστασης. Πιθανές θα πρέπει να θεωρηθούν και οι σημειακές ανθρωπογενείς επιδράσεις μέσω αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων. Οι τιμές χλωρίου της περιοχής έρευνας κινούνται στα ίδια χαμηλά επίπεδα με το Φονιά (7,5 mg/l), τον Κομψάτο, το Φλωρίνι, το Λύγκο (11 mg/l) και το Κοκκόρεμμα (15,2 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 2006).

Θειικά ιόντα (SO_4^{-2})

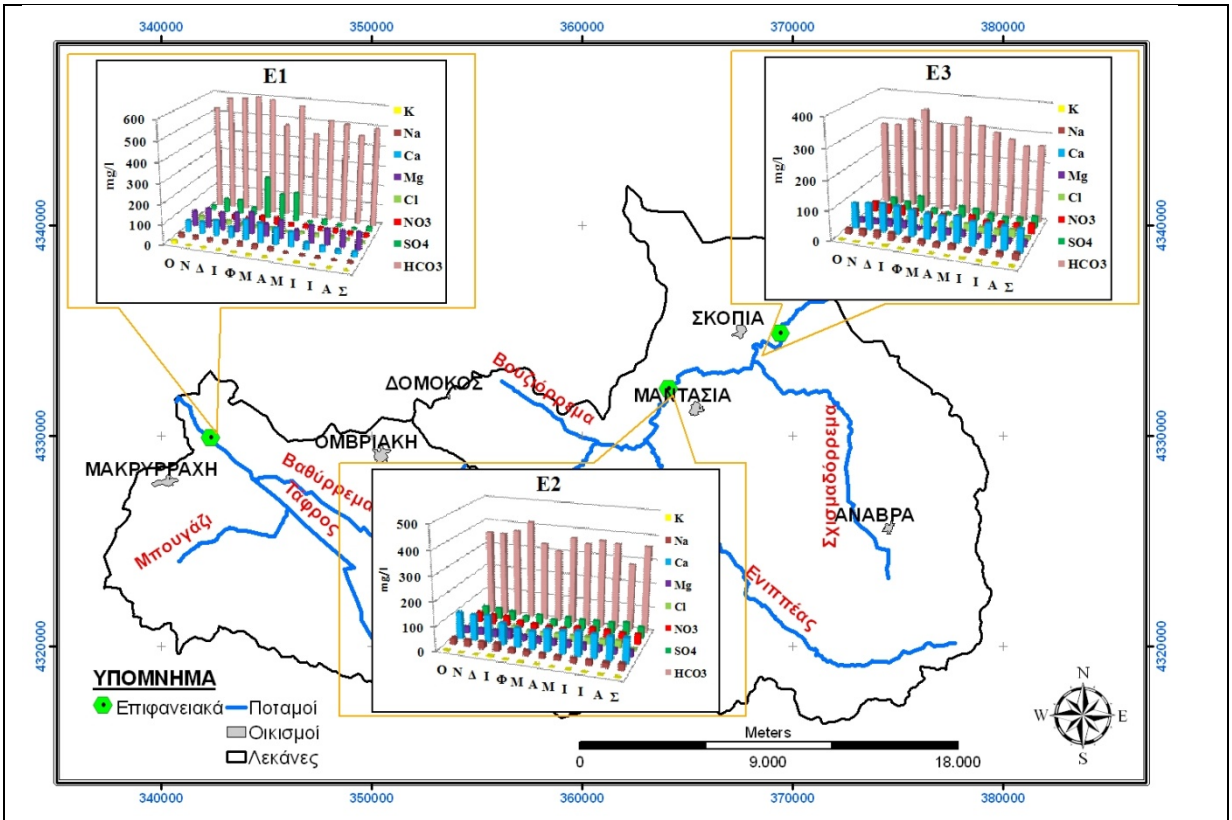
Η διακύμανση των SO_4^{2-} είναι στη λεκάνη Ξυνιάδας από 3,7 έως 209,7 mg/l και η μέση τιμή είναι 64,2 mg/l. Στη λεκάνη Σκοπιάς η διακύμανση είναι από 8,3 έως 57,7 mg/l με μέση τιμή 37,1 mg/l και ακολουθεί τη σειρά E2>E3 (Σχήμα 9.119). Από το σύνολο των δειγμάτων κανένα δεν ξεπερνά τα 250 mg/l που τίθεται σαν ανώτατο όριο για τα πόσιμα νερά απ' την E.E (*EU Council directive 98/83* 1998). Η διαφορά που παρατηρείται στις τιμές των SO_4^{2-} μεταξύ των λεκανών σχετίζεται με τα αυξημένα επίπεδα των οργανικών της πρώην λίμνης και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Η τελευταία υπόθεση ερμηνεύει και την διαφορά μεταξύ των δύο σημείων στον Ενιππέα.

Από το σύνολο των δειγμάτων οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στην Τάφρο, αρχή και τέλος της υγρής περιόδου. Το χειμώνα, λόγω της επάρκειας του οξυγόνου, το οργανικό υλικό στα βαθύτερα αργιλικά στρώματα της πρώην λίμνης αποσυντίθεται με μεγαλύτερο ρυθμό. Αναδύεται από την υπερεπάρκεια νερού και συμβάλλει στην αύξηση των SO_4^{2-} στα επιφανειακά νερά. Επιπλέον, οι υψηλές τιμές SO_4^{2-} τον Απρίλιο μπορούν να συσχετιστούν και με τη χρήση αγροχημικών και οργανικής προέλευσης λιπασμάτων στις εαρινές καλλιέργειες της περιοχής.

Οι τιμές των SO_4^{2-} εμφανίζονται σε παρόμοια επίπεδα συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες του Αλφειού ποταμού όπου η μέση τιμή είναι 44,1 mg/l (*Καραπάνος* 2009), καθώς και των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (11-74 mg/l) (*Skoulikidis et al.* 1997).

Νιτρικά (NO_3^-)

Τα NO_3^- κυμαίνονται στη λεκάνη Ξυνιάδας από 13,6 έως 35,6 mg/l και η μέση τιμή είναι 20,0 mg/l και για τη λεκάνη Σκοπιάς από 20,2 έως 43,6 mg/l με μέση τιμή 32,4 mg/l (Σχήμα 9.119). Από τα δείγματα κανένα δεν υπερβαίνει τα 50 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της E.E. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών παρουσιάζουν διαφορετικό χωρικό πρότυπο, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στη λεκάνη Σκοπιάς. Αποδίδονται στις ανθρωπογενείς επιδράσεις λόγω των



Σχήμα 9.119. Οι συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

των αγροκαλλιεργειών. Οι υψηλότερες τιμές κατά τους υγρούς μήνες συνδέονται με την έκπλυση λιπασμάτων από τις βροχοπτώσεις, συλλογισμοί οι οποίοι ερμηνεύουν και τη σειρά Ε2>Ε3 στη λεκάνη Σκοπιάς.

Τα επίπεδα των NO_3^- της παρούσας έρευνας παρουσιάζονται υψηλότερα συγκρινόμενα με άλλες περιοχές. Στον Αξιό οι *Karageorgis et al.* (2003) διαπίστωσαν μέση τιμή NO_3^- 7,2 mg/l και ο *Milovanovic* (2007) μέγιστη τιμή 7,92 mg/l. Οι *Bellos et al.* (2004) παρατήρησαν διακύμανση στον Πηνειό 0,1 έως 22,1 mg/l, ενώ στον Καλαμά και στον Αλφειό οι μέγιστες τιμές που διαπιστώθηκαν ήταν 2,98 mg/l και 2,55 mg/l αντίστοιχα (*Skoulikidis et al.* 2006). Οι τιμές αυτές αποδίδονται στην διάλυση των NO_3^- από μεγαλύτερο όγκο νερού στα ποτάμια αυτά.

9.8.4 Ιχνοενώσεις

Φωσφορικά ιόντα (PO_4^-)

Η διακύμανση των PO_4^{3-} είναι για την Ξυνιάδα από 0,23 mg/l έως 1,72 mg/l με μέση τιμή 0,67 και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 0,08 mg/l έως 1,0 mg/l με μέση τιμή 0,33 mg/l και με τη σειρά Ε2>Ε3 (Σχήμα 9.120). Από το σύνολο των δειγμάτων κανένα δεν παρουσιάζει τιμή πάνω από 6,69 mg/l, το ανώτερο επίπεδο που θέτει η Ε.Ε. για τα PO_4^{3-}.

Οι τιμές των PO_4^{3-} οφείλονται στη χρήση λιπασμάτων και στον εδαφικό μανδύα που παίζει σημαντικό ρόλο στο χημισμό του επιφανειακού και υπόγειου νερού. Έτσι στα επιφανειακά νερά τα PO_4^{3-} προέρχονται από τον εδαφικό μανδύα, όταν δεν αφομοιώνονται πλήρως από τη χλωρίδα (*Καλλέργης* 2000). Το γεγονός εξηγεί τις υψηλότερες τιμές που παρουσιάζονται στη λεκάνη Ξυνιάδας. Επιπρόσθετα στην ίδια λεκάνη τον Ιούλιο, παρουσιάζεται μια απότομη κορύφωση των τιμών, κάτι που υποδηλώνει σημειακές πηγές ρύπανσης.

Οι τιμές των PO_4^{3-} παρουσιάζονται χαμηλότερες συγκρινόμενες με αυτές του Πηνειού η διακύμανση των οποίων είναι 0,01 έως 2,41 mg/l (*Bellos et al.* 2004) και του Αξιού 0,2 έως 2,5 mg/l (*Karageorgis et al.* 2003). Αντίθετα είναι υψηλότερες από τη μέση τιμή P_2O_5 στο Στρυμώνα 0,14 mg/l (≈0,19 mg/l PO_4^{3-}), στο Νέστο 0,14 mg/l (≈0,19 mg/l PO_4^{3-}) και στον Αώο 0,02 mg/l (≈0,03 mg/l PO_4^{3-}) (*Skoulikidis et al.* 2006).

Αμμωνιακά ιόντα (NH_4^+)

Οι τιμές των αμμωνιακών ιόντων στα δείγματα επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 0,15 έως 10,58 mg/l με μέση τιμή 1,24 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 0,00 mg/l έως 0,32 mg/l με μέση τιμή 0,13 mg/l και με τη σειρά Ε2>Ε3 (Σχήμα 9.120). Από το σύνολο των δειγμάτων 5 δείγματα της Τάφρου παρουσιάζουν τιμές NH_4^+ πάνω 0,5 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε.

Οι υψηλότερες τιμές στη λεκάνη Ξυνιάδας οφείλονται σε ανθρωπογενείς εισροές από τη χρήση αμμωνιακών λιπασμάτων και ρυπογόνων φορτίων από κτηνοτροφικές μονάδες, τα οποία και διοχετεύονται στα υδάτινα ρεύματα με τελική κατάληξη την τάφρο. Η τελευταία παρατήρηση ερμηνεύει την τιμή των 10,58 mg/l τον Οκτώβριο στην Τάφρο, που σχετίζεται με σημειακή εξωτερική εισροή και συνδέεται με κτηνοτροφική μονάδα ανάντη του σημείου δειγματοληψίας. Οι τιμές των αμμωνιακών ιόντων κινήθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα από εκείνες του Πηνειού (διακύμανση 0,01 έως 1,81 mg/l) (*Bellos et al.* 2004) και από τη μέση τιμή των NH_4^+ στον Αλιάκμονα 0,14 mg/l και στο Νέστο 0,08 mg/l (*Skoulikidis et al.* 2006).

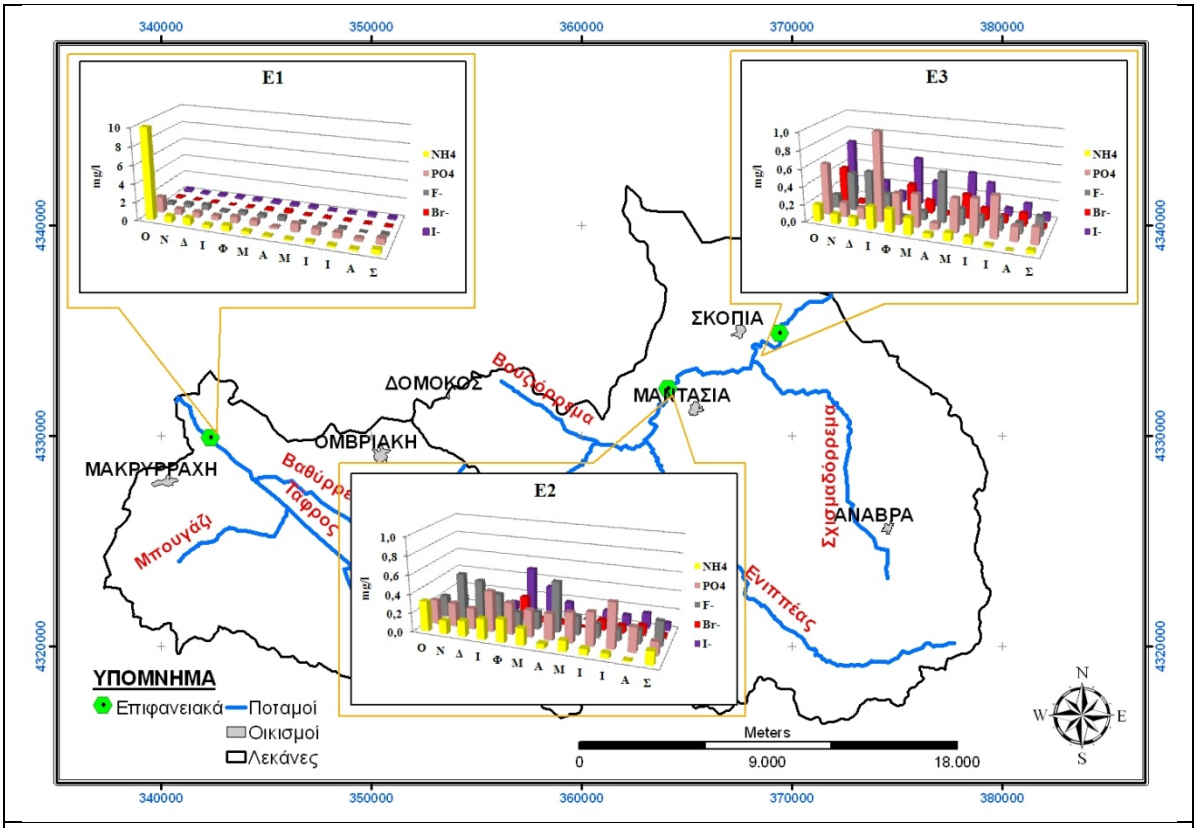
Βρώμιο (Br^-)

Τα ιόντα Br^- κυμαίνονται στα επιφανειακά νερά της λεκάνης Ξυνιάδας από 0,02 έως 0,30 mg/l με μέση τιμή 0,13 mg/l. Για τη λεκάνη της Σκοπιάς η διακύμανση είναι από 0,00 mg/l έως 0,40 mg/l με μέση τιμή 0,11 mg/l και με τη σειρά Ε3>Ε2 (Σχήμα 9.120). Όλο το σύνολο των δειγμάτων, με εξαίρεση μόνο δύο, εμφανίζουν τιμές πάνω από το επίπεδο των 0,01, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. Οι τιμές των Br^- κινούνται σε παρόμοια επίπεδα και για τις δύο λεκάνες. Η προέλευσή τους είναι

γεωγενής λόγω της παρουσίας των ηφαιστειακών πετρωμάτων (pillow lavas) που αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας και ενδεχόμενα ανθρωπογενής, καθώς το στοιχείο βρίσκεται σε αγροχημικά σκευάσματα (*Kabata-Pendias and Pendias* 1992) που χρησιμοποιούνται στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις της περιοχής.

Ιώδιο (Ι)

Η διακύμανση των ιόντων I^- στα επιφανειακά νερά της λεκάνης Ξυνιάδας είναι από 0,11 έως 0,31 mg/l με μέση τιμή 0,20 mg/l και για τη λεκάνη Σκοπιάς από 0,00 mg/l έως 0,66 mg/l με μέση τιμή 0,21 mg/l και με τη σειρά E3>E2 (Σχήμα 9.120). Η προέλευση των ιόντων I^- είναι γεωγενής και οφείλεται στην ύπαρξη οργανικής ύλης θειούχων ορυκτών και οξειδίων του σιδήρου και κατά ένα μέρος στη χρήση γεωργικών σκευασμάτων (*Kabata-Pendias and Pendias* 1992).



Σχήμα 9.120. Οι συγκεντρώσεις ιχνοενώσεων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

Φθόριο (F_2^-)

Τα ιόντα F_2^- κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 0,00 έως 0,59 mg/l με μέση τιμή 0,29 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 0,01 mg/l έως 0,56 mg/l με μέση τιμή 0,25 mg/l και με τη σειρά E2>E3 (Σχήμα 9.120). Οι τιμές των F_2^- κινούνται σε παρόμοια επίπεδα και για τις δύο λεκάνες και από τα δείγματα κανένα δεν ξεπερνά την τιμή των 1,5 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. Οι τιμές των ιόντων F_2^- σχετίζονται με γεωγενή αίτια, σε σχέση με την παρουσία του στοιχείου στα ηφαιστειογενή πετρώματα που βρίσκονται σε ιζηματογενή πετρώματα ή στους σχηματισμούς των οφιόλιθων. Είναι πολύ πιθανό μέρος της παρουσίας του F_2^- να οφείλεται στη χρήση αγροχημικών που περιέχουν το στοιχείο, καθώς είναι πολύ διαλυτό και ευκίνητο.

9.8.5 Βαρέα μέταλλα

Η διαλυτότητα των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά ελέγχεται κυρίως από το pH του νερού και το οξειδοαναγωγικό δυναμικό (*Osmond et al.* 1995), καθώς και από τη

θερμοκρασία και τη ροή του νερού (*Iwashita and Shimamura* 2003). Τα περισσότερα μέταλλα παρουσιάζουν την ελάχιστη διαλυτότητα στις περιοχές pH που κυμαίνονται από 7,5 έως 11, ενώ στις περισσότερες αλκαλικές ή όξινες περιοχές pH η διαλυτότητα αυξάνεται (*Καββαδάς* 2005). Επιπλέον σε περιβάλλον έντονα αλκαλικό τα βαρέα μέταλλα απομακρύνονται από την υδατική φάση σε μορφή αδιάλυτων υδροξειδίων (*McBride* 1994).

Στο σχήμα 9.121 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που ανιχνεύθηκαν στα επιφανειακά νερά των δύο λεκανών στις θέσεις δειγματοληψίας. Μεταξύ των στοιχείων ο Fe, το Ni και το Cr χαρακτηρίζονται από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις και για τις δύο λεκάνες, ενώ ο Cu, το Co και το Cd δεν ανιχνεύτηκαν. Η μέση συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας ακολουθεί τη σειρά:

Τάφρος (σημείο Ε1): Fe > Ni > Cr > Mn > Zn
Ενιππέας (σημείο Ε2): Fe >Ni > Cr > Zn > Mn
Ενιππέας (σημείο Ε3): Fe > Ni > Cr > Mn > Zn

Σίδηρος Ολικός (Fe^{2+} και Fe^{3+})

Οι τιμές του ολικού σιδήρου στα δείγματα επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας κυμαίνονται για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 0,088 έως 0,281 mg/l με μέση τιμή 0,180 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς, από 0,095 mg/l έως 0,418 mg/l με μέση τιμή 0,184 mg/l και με τη σειρά Ε2>Ε3 (Σχήμα 9.121). Από το σύνολο των δειγμάτων 4 δείγματα στη λεκάνη Ξυνιάδας και τρία στη λεκάνη Σκοπιάς έχουν τιμές πάνω από 0,2 mg/l την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε.

Οι συγκεντρώσεις των Fe^{2+} και Fe^{3+} στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας, οφείλονται στην ισχυρή παρουσία σιδήρου με τη μορφή οξειδίων στα υποστρώματα των ποταμών, στα αργιλικά ιζήματα, στο κλαστικό υλικό οφιολιθικής προέλευσης και στην έντονη παρουσία της οργανικής ύλης. Επιπλέον, στη λεκάνη Ξυνιάδας η οξείδωση διάσπαρτου σιδηροπυρίτη στα οφιολιθικά υποστρώματα και η οξείδωση των οργανικών στρωμάτων της πρώην λίμνης τροφοδοτούν μέσω πλευρικών διηθήσεων την αποστραγγιστική τάφρο με ιόντα σιδήρου.

Τα μέσα επίπεδα συγκέντρωσης Fe της περιοχής έρευνας συγκρινόμενα διαπιστώνεται ότι κινούνται σε υψηλότερα επίπεδα από εκείνα του Αλιάκμονα (0,074 mg/l), του Πηνειού (0,081 mg/l) και του Καλαμά (0,047 mg/l) (*Karamanis et al*. 2008).

Μαγγάνιο (Mn)

Η διακύμανση του μαγγανίου στα επιφανειακά νερά της περιοχή έρευνας είναι για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 0,001 έως 0,039 mg/l με μέση τιμή 0,007 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από <0,001 mg/l έως 0,014 mg/l με μέση τιμή 0,003 mg/l και με τη σειρά Ε3>Ε2 (Σχήμα 9.121). Οι τιμές Mn κινούνται σε χαμηλά επίπεδα και δεν ξεπερνούν τα 0,05 mg/l, την ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση για τα πόσιμα νερά σύμφωνα με την Ε.Ε.. Η παρουσία του μετάλλου στα επιφανειακά νερά έχει προέλευση γεωγενή, καθώς το στοιχείο απαντάται συνήθως στα εδάφη με τη μορφή οξειδίων και υδροξειδίων ή ως μεμονωμένα συγκρίματα με ποικίλες διαστάσεις (*McKenzie* 1977).

Οι τιμές Mn εμφανίζονται στα ίδια χαμηλά επίπεδα με τις μέσες τιμές Mn στον Πηνειό 0,004 mg/l, τον Καλαμά 0,002 mg/l και τον Αώο 0,003 mg/l (*Karamanis et al*. 2008). Αντίθετα η διακύμανση είναι αρκετά χαμηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη των επιφανειακών νερών στα αποστραγγιστικά κανάλια της πρώην λίμνης Μουριάς στην Ηλεία, με διακύμανση από 0,007 έως 1,537 mg/l και μέση τιμή 0,369 mg/l (*Καραπάνος* 2009).

Χαλκός (Cu)

Οι συγκεντρώσεις χαλκού στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας παρουσίασαν μη ανιχνεύσιμες (<0,001 mg/l) τιμές και για τις δύο λεκάνες. Σε αντίθεση τα αντίστοιχα επίπεδα Cu στον Αλιάκμονα ήταν από 0,001 έως 0,015 mg/l με μέση τιμή 0,003 mg/l και στον Πηνειό από 0,001 έως 0,011 mg/l με μέση τιμή 0,004 mg/l (*Karamanis et al*. 2008).

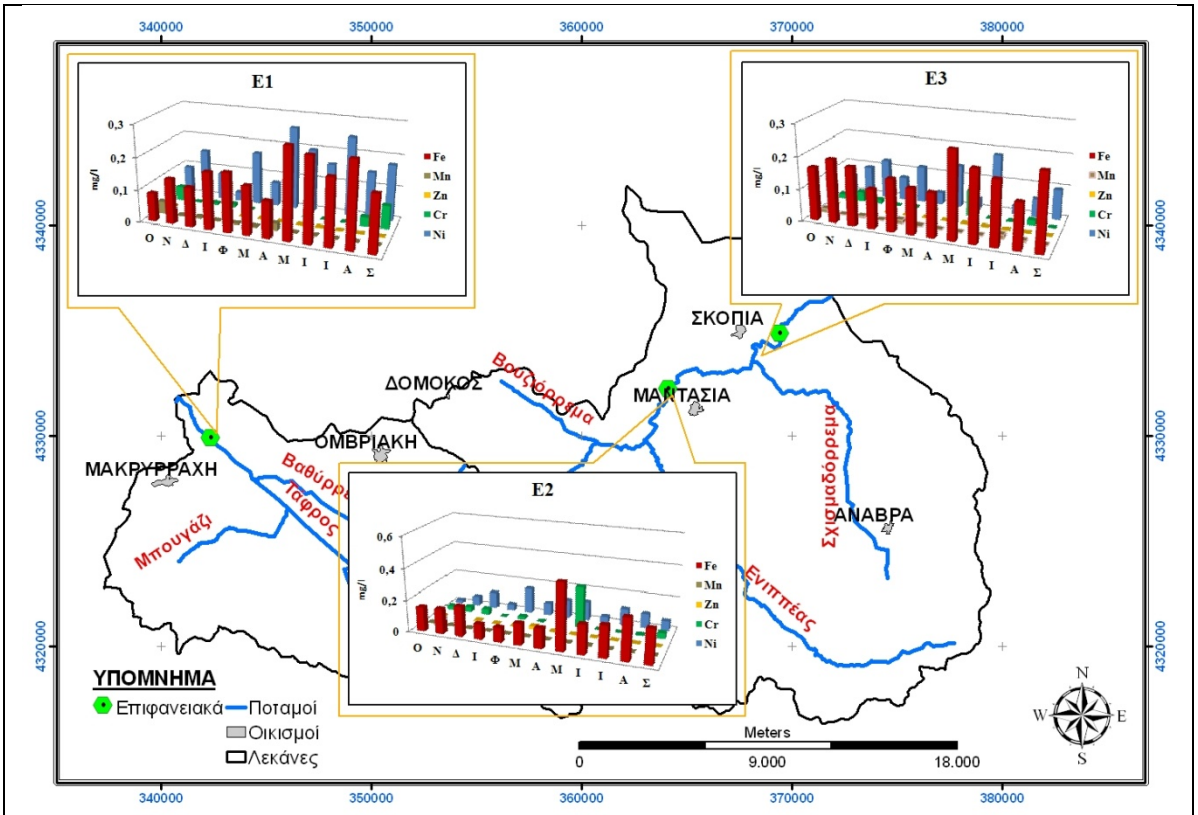
Ψευδάργυρος (Zn)

Η διακύμανση του ψευδαργύρου στα επιφανειακά νερά της περιοχή έρευνας είναι για τη λεκάνη Ξυνιάδας από <0,001 έως 0,011 mg/l με μέση τιμή 0,002 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από <0,001 mg/l έως 0,020 mg/l με μέση τιμή 0,004 mg/l και με την σειρά Ε2>Ε3 (Σχήμα 9.121). Από το σύνολο των δειγμάτων κανένα δείγμα δεν παρουσιάζει τιμή πάνω από (0,10 mg/l), την ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση Zn στο πόσιμο νερό (*EU Council directive 98/83* 1998).

Οι τιμές ψευδαργύρου κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και οφείλονται στη διάλυση ορυκτών που περιέχουν το στοιχείο και στη χρήση γεωργικών φαρμάκων και λιπασμάτων, καθώς κάποια από αυτά περιέχουν ως επιπλέον στοιχείο Zn (*Siegel* 2002, *Kabata-Pendias and Mukherjee* 2007). Σε αντίθεση η διακύμανση του Zn στον Αλιάκμονα είναι από 0,001 έως 0,224 mg/l με μέση τιμή 0,016 mg/l και στον Πηνειό από 0,002 mg/l έως 0,058 mg/l με μέση τιμή 0,012 mg/l (*Karamanis et al*. 2008).

Κάδμιο (Cd)

Οι συγκεντρώσεις καδμίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας παρουσίασαν και για τις δύο λεκάνες μη ανιχνεύσιμες τιμές (<0,001 mg/l).



Σχήμα 9.121. Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας.

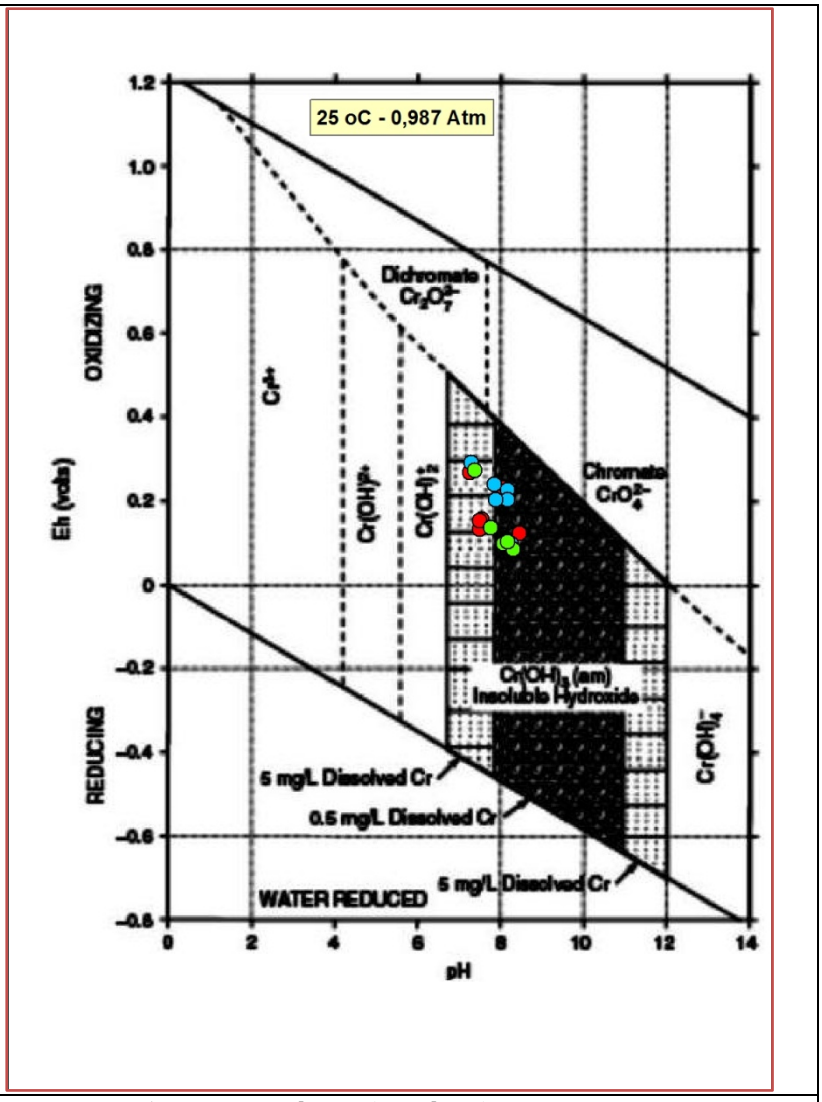
Μόλυβδος (Pb)

Οι συγκεντρώσεις μολύβδου στα επιφανειακά νερά του οροπεδίου Δομοκού έχουν τιμές μη ανιχνεύσιμες (<0,001 mg/l). Εξαίρεση αποτελούν οι τιμές του Ιανουαρίου 2011 στο σημείο Ε3 (0,03 mg/l) και του Μαΐου στο Ε2 (0,10 mg/l) οι οποίες ξεπερνούν το όριο των 0,01 mg/l της Ε.Ε. Οι τιμές αυτές πιθανά οφείλονται σε σημειακή εισροή από την έκπλυση από εφαρμογή αγροχημικών προϊόντων (*Alloway* 1995, *Kabata-Pendias amd Mukherjee* 2007). Σε σύγκριση οι μέγιστες τιμές Pb στον Αλιάκμονα και στον Πηνειό έφτασαν 0,005 και 0,004 mg/l αντίστοιχα και τα μέσα επίπεδα ήταν 0,001 mg/l (*Karamanis et al*. 2008).

Νικέλιο (Ni)

Το Ni κυμαίνονται στα επιφανειακά νερά για τη λεκάνη Ξυνιάδας από 0,027 έως 0,258 mg/l με μέση τιμή 0,148 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από 0,020 mg/l έως 0,183 mg/l με μέση τιμή 0,085 mg/l και με τη σειρά E3>E2 (Σχήμα 9.121). Όλα τα δείγματα, εκτός από ένα στο σημείο E2, εμφανίζουν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 0,02 mg/l (*EU Council directive 98/83* 1998).

Οι τιμές του Ni έχουν προέλευση γεωγενή και σχετίζονται με την ύπαρξη οφιολίθων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής καθώς και των προϊόντων αποσάθρωσής τους, που απαντώνται στα ιζήματα των ποταμών. Αυτή είναι και η αιτία των υψηλότερων τιμών του Ni στα νερά της Ξυνιάδας, καθώς εκεί η παρουσία των οφιόλιθων εμφανίζεται πιο ισχυρή. Πιθανή επίσης θα πρέπει να θεωρείται και η ανθρωπογενής επίδραση με τη χρήση λιπασμάτων και αγροχημικών, δεδομένου ότι κάποια από αυτά περιέχουν ενώσεις νικελίου (*Kabata-Pendias and Pendias* 1992, *Siegel* 2002). Οι συγκεντρώσεις Ni κινούνται σε χαμηλότερα επίπεδα στον Καλαμά, από 0,001 έως 0,006 mg/l με μέση τιμή 0,003 mg/l, στον Αώο από 0,002 έως 0,009 mg/l με μέση τιμή 0,004 mg/l (*Karamanis et al*. 2008) και στα αποστραγγιστικά κανάλια της πρώην λίμνης Μουριάς από 0,004 έως 0,018 mg/l με μέση τιμή 0,009 mg/l (*Καραπάνος* 2009).



Σχήμα 9.122. Διάγραμμα Eh-pH (Pourbaix) με τις μορφές Cr για τα νερά της τάφρου (●) και του Ενιππέα στη Μαντασιά (●) και στη Σκοπιά (●) (*Hem* 1989).

Κοβάλτιο (Co)

Οι συγκεντρώσεις κοβαλτίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας ήταν για όλα τα δείγματα μη ανιχνεύσιμες (<0,001 mg/l).

Χρώμιο ολικό (Cr_{tot})

Η διακύμανση του ολικού χρωμίου είναι στη λεκάνη Ξυνιάδας από <0,001 έως 0,071 mg/l με μέση τιμή 0,014 mg/l και για τη λεκάνη της Σκοπιάς από <0,001 mg/l έως 0,262 mg/l με μέση τιμή 0,024 mg/l και με τη σειρά E2>E3 (Σχήμα 9.121). Από το σύνολο των νερών δύο δείγματα στη λεκάνη Σκοπιάς και ένα στη λεκάνη Ξυνιάδας παρουσιάζουν τιμές πάνω από την παραμετρική τιμή των 0,05 mg/l που ορίζει η Ε.Ε. Στη λεκάνη Ξυνιάδας η παρουσία του Cr_{tot} σχετίζεται με τις χρωμιτικές εμφανίσεις, τόσο στα υποστρώματα της τάφρου, όσο και στα υπερβασικά πετρώματα από τα οποία τροφοδοτείται το υδατόρευμα της λεκάνης. Παρόμοια, στη λεκάνη της Σκοπιάς η παρουσία του Cr_{tot} σχετίζεται με περιοχές των τεταρτογενών ιζημάτων στις οποίες συμμετέχει κλαστικό υλικό οφιολιθικής προέλευσης και τις οποίες διασχίζουν τα ποτάμια της λεκάνης. Από το διάγραμμα επικρατούντος ιόντος (Pourbaix) του οξειδοαναγωγικού δυναμικού με το pH διαπιστώνεται ότι η μορφή Cr που επικρατεί στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας είναι το υδροξυ-σύμπλοκο $Cr(OH)_3$ aq. του τρισθενούς χρωμίου (Σχήμα 9.122).

Τα αντίστοιχα επίπεδα χρωμίου στα αποστραγγιστικά κανάλια της πρώην λίμνης Μουριάς είναι από 0,011 έως 0,161 mg/l με μέση τιμή 0,067 (*Καραπάνος* 2009). Στον Πηνειό από <0,001 mg/l έως 0,008 mg/l με μέση τιμή 0,002 mg/l, στον Καλαμά από <0,001 mg/l έως 0,004 mg/l με μέση τιμή 0,001 mg/l και στον Αώο από <0,001 mg/l έως 0,003 mg/l με μέση τιμή 0,001 mg/l (*Karamanis et al*. 2008).

9.8.6 Ταξινόμηση επιφανειακών νερών

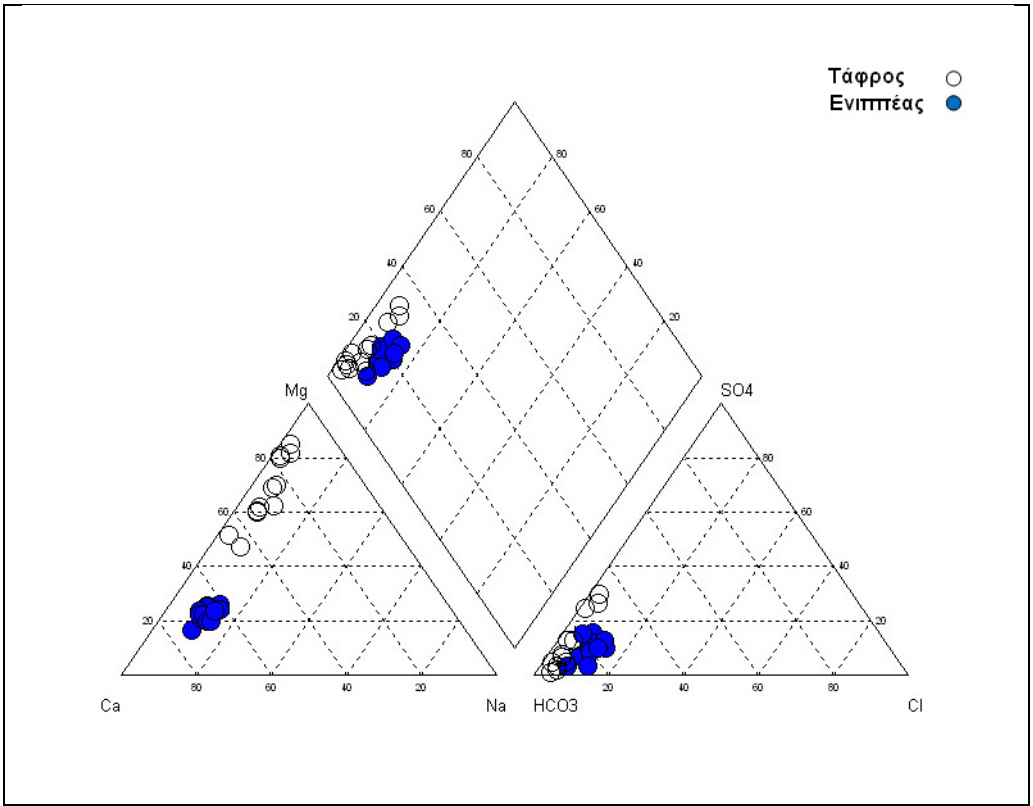
Διάγραμμα PIPER

Στο σχήμα 9.123 παρουσιάζεται η υδροχημική ταξινόμηση των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού με βάση το διάγραμμα Piper. Διαπιστώνεται ότι τα νερά της τάφρου Ξυνιάδας και του Ενιππέα κατατάσσονται στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών στην ομάδα των οξυανθρακικών. Τα νερά της τάφρου είναι του υδροχημικού τύπου Mg-HCO_3 που σχετίζεται με την ανάπτυξη των οφιόλιθων, ενώ τα νερά του Ενιππέα είναι του υδροχημικού τύπου Ca-HCO_3 που συνδέεται με την ύπαρξη ανθρακικών πετρωμάτων και σχηματισμών του φλύσχη (*Charizopoulos et al.* 2011). Από την άποψη αυτή ο Ενιππέας ανήκει στη μεγάλη πλειοψηφία των ποταμών στα βαλκάνια με τον Ca-HCO_3 υδροχημικό τύπο (Ca>Mg>Na>K-HCO_3>SO_4>Cl σε meq/l) (*Skoulikidis* 2009), παρόμοια με το μέσο όρο των ποταμών παγκοσμίως (*Meybeck* 1981). Αντίθετα, τα νερά της Τάφρου (Mg>Na>Ca>K-HCO_3>SO_4>Cl σε meq/l) είναι παρόμοια με τα νερά του Αώου (Mg>Ca) (*Skoulikidis et al.* 2006, *Skoulikidis* 2009) και του Ονόχωνου (*Stamatis* 1999).

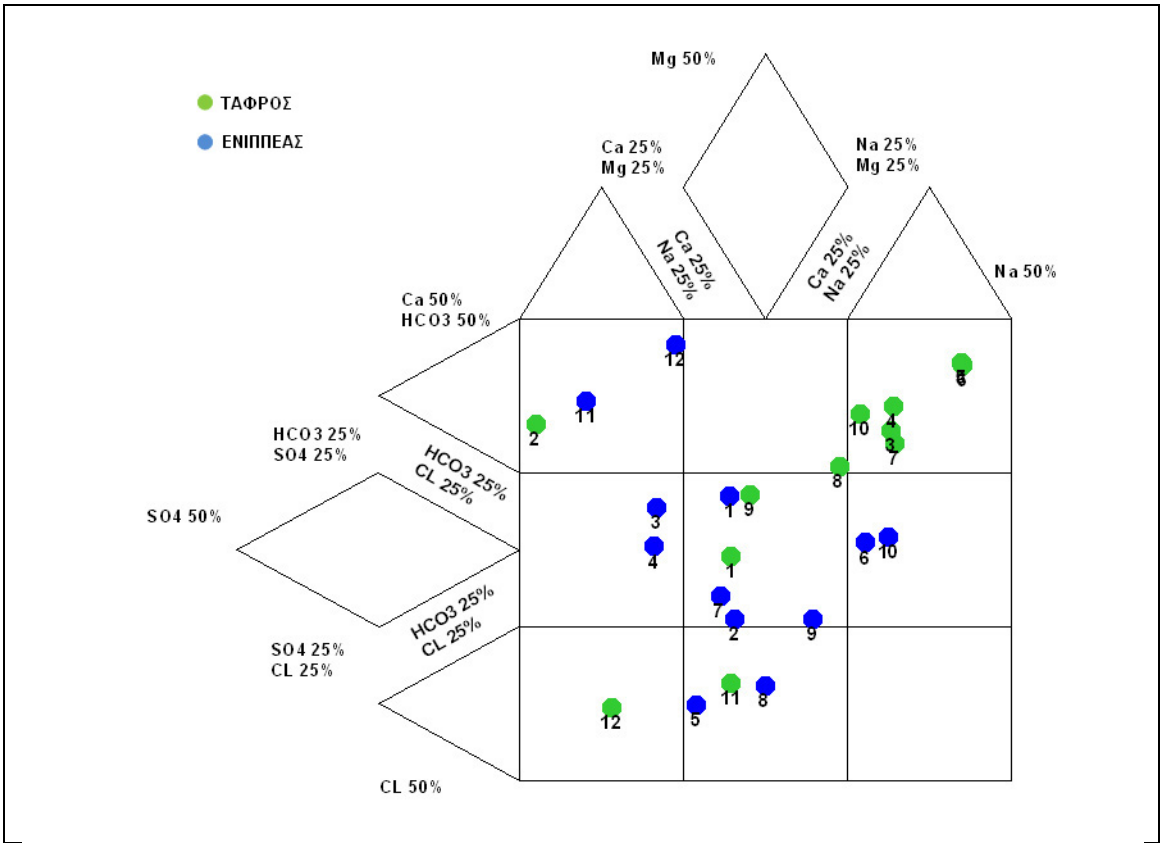
Διάγραμμα DUROV

Στο σχήμα 9.124 παρουσιάζεται η υδροχημική ταξινόμηση των επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας με βάση το διάγραμμα Durov. Διαπιστώνεται ότι τα νερά της τάφρου Ξυνιάδας είναι στη πλειοψηφία τους (ποσοστό 66%) νερά στα οποία βρίσκεται σε εξέλιξη το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής. Η υδροχημική τους εξέλιξη καθορίζεται από τις ακόλουθες φάσεις: Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3. Ποσοστό 17% είναι νερά μίξης με ακαθόριστο υδροχημικό τύπο και 17% νερά αντίστροφης κατιοανταλλαγής με υδροχημικούς τύπους Ca-Cl και Mg-Cl.

Σε αντίθεση τα νερά του Ενιππέα σε ποσοστό 66% είναι νερά μίξης ή νερά διαλυτοποίησης με ακαθόριστο υδροχημικό τύπο. Ποσοστό 17% είναι νερά κατιοανταλλαγής με υδροχημικό τύπο Ca-HCO_3, και 17% είναι νερά αντίστροφης κατιοανταλλαγής με υδροχημικό τύπο Mg-Cl.



Σχήμα 9.123. Διάγραμμα Piper των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού.



Σχήμα 9.124. Διάγραμμα Durov των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού.

9.8.7 Στατιστική επεξεργασία επιφανειακών νερών

Για τη στατιστική επεξεργασία των υδροχημικών δεδομένων των επιφανειακών νερών έγινε ανάλυση συσχέτισης κατά Pearson (r) και παραγοντική ανάλυση (R-Factor Analysis) για τα νερά στις εξόδους των δύο λεκανών (σημεία Ε1 και Ε3).

Τάφρος:

Από την ανάλυση συσχέτισης και τον πίνακα συσχέτισης (Correlation matrix) που προέκυψε διαπιστώνεται (Πίνακας 9.17):

- Υψηλή θετική συσχέτιση του **Ca** με το Na (r=0,73), με τα SO_4^{2-} (r=0,81) και το F (r=0,70)
- Υψηλή θετική συσχέτιση του **Na** με τα SO_4^{2-} (r=0,70), και το F (r=0,75)
- Μέτρια θετική συσχέτιση των **HCO_3^-** με το F (r=0,65)
- Μέτρια θετική συσχέτιση των **SO_4^{2-}** με τα NO_3^- (r=0,66) και το F (r=0,68)

Οι ανωτέρω συσχετίσεις συνδέονται με την γεωλογία της περιοχής (παρουσία του F στα ηφαιστειογενή πετρώματα), τη χρήση λιπασμάτων και λύματα κτηνοτροφικών μονάδων.

Η εφαρμογή της Factor Analysis έδειξε αξιόπιστη γιατί ο δείκτης Keiser-Meyer-Olkin είναι >0,50 (0,51) και ο δείκτης σφαιρικότητας Bartlett's, sig (0,04) είναι <0,05 (παράρτημα Ι). Η τελική εφαρμογή της μεθόδου Principal Components Analysis με τη μέθοδο Varimax Rotation, σύμφωνα με το κριτήριο «*Cattell's Scree test*», προσδιορίζει τρείς παράγοντες που ερμηνεύουν το 83,3% της ολικής διακύμανσης. Οι τιμές εταιρικότητας των μεταβλητών είναι >0,5 κάτι που δηλώνει ότι το μοντέλο των τριών παραγόντων λειτουργεί ικανοποιητικά (Πίνακας 9.18).

Πίνακας 9.17. Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων των επιφανειακών νερών της Τάφρου Ξυνιάδας.

	Ca	Na	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	F	Ni
Ca	1,00								
Na	**0,73**	1,00							
HCO_3^-	0,32	0,56	1,00						
Cl	0,21	0,29	0,05	1,00					
SO_4^{2-}	**0,81**	**0,70**	0,51	-0,12	1,00				
NO_3^-	0,64	0,35	-0,01	0,06	**0,66**	1,00			
NH_4^+	-0,02	0,39	0,05	0,63	-0,17	-0,25	1,00		
F	**0,70**	**0,75**	**0,65**	0,16	**0,68**	0,27	0,10	1,00	
Ni	0,29	0,59	0,16	0,48	0,00	-0,01	0,52	0,17	1,00

Πίνακας 9.18. Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των επιφανειακών νερών της Τάφρου.

Μεταβλητή	**1**	**2**	**3**	**Communality**
Ca	0,45	**0,81**	0,18	0,88
Na	**0,69**	0,46	0,48	0,91
HCO_3^-	**0,93**	-0,08	0,01	0,88
Cl	-0,05	0,09	**0,84**	0,71
SO_4^{2-}	**0,61**	**0,73**	-0,16	0,93
NO_3^-	-0,07	**0,95**	-0,07	0,92
NH_4^+	0,08	-0,22	**0,86**	0,79
F	**0,81**	0,37	0,12	0,82
Ni	0,17	0,08	**0,79**	0,67
Διακύμανση	**29,0%**	**27,9%**	**26,4%**	**83,3%**

- Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 29,0% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τις παραμέτρους HCO_3^- (0,93) και F (0,81) και με μέτρια θετικά φορτία το Na (0,69) και τα SO_4^{2-} (0,61). Ο παράγοντας περιγράφει το λιθολογικό χαρακτήρα των υποστρωμάτων της τάφρου και της περιοχής από την οποία διέρχεται. Στο συμπέρασμα οδηγεί η ισχυρή παρουσία του F, η οποία σχετίζεται με ηφαιστειογενή πετρώματα των οφιόλιθων ή είναι συνδεδεμένα με ιζηματογενή πετρώματα και επιπλέον η παρουσία του Na και των SO_4^{2-}. Η παρουσία του Na σχετίζεται με τις πλούσιες σε νατριούχα ορυκτά ηφαιστειακές λάβες, ενώ η ύπαρξη των SO_4^{2-} συνδέεται με την οργανική ύλη της περιοχής της πρώην λίμνης.
- Ο δεύτερος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τα NO_3^- (0,95) και το Ca (0,81), με μέτριο θετικό φορτίο τα SO_4^{2-} (0,73) και εκφράζει το 27,9% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο παράγοντας περιγράφει την έκπλυση από τη χρήση λιπασμάτων.
- Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 26,4% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τα NH_4^+ (0,86) και Cl (0,84) και με μέτριο θετικό φορτίο το Ni (0,79). Ο παράγοντας υποδηλώνει ανθρωπογενούς προέλευσης εισροές στα νερά της τάφρου, καθώς η υψηλή συσχέτιση NH_4^+ και Cl (0,64) υποδεικνύει τη σύνδεσή τους. Οι αιτίες προέλευσης των NH_4^+ συνδέονται με την ύπαρξη κτηνοτροφικής μονάδας ανάντη του σημείου δειγματοληψίας στην έξοδο της λεκάνης Ξυνιάδας. Επιπλέον η θετική παρουσία του Ni σχετίζεται με τα υποστρώματα της τάφρου και τη λιθολογία της περιοχής από όπου διέρχεται, καθώς εδάφη με υψηλές τιμές Ni προέρχονται από την αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων.

Ενιππέας:

Από την ανάλυση συσχέτισης και τον πίνακα συσχέτισης (Correlation matrix) που προέκυψε διαπιστώνεται (Πίνακας 9.19):

- Θετική συσχέτιση (r=0,65) του **Ca** με τα HCO_3^-
- Υψηλή θετική συσχέτιση του **Mg** με τα SO_4^{2-} (r=0,79) και μέτρια θετική συσχέτιση με τα HCO_3^- (r=0,68).

Οι ανωτέρω συσχετίσεις συνδέονται με τη λιθολογία της περιοχής από όπου προέρχονται και διασχίζουν τα υδατορεύματα και τη χρήση λιπασμάτων.

Πίνακας 9.19. Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων των επιφανειακών νερών του Ενιππέα.

	Ca	Mg	HCO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	NH_4^+	F	Fe
Ca	1,00							
Mg	0,48	1,00						
HCO_3^-	**0,65**	**0,68**	1,00					
SO_4^{2-}	0,37	**0,79**	0,51	1,00				
PO_4^{3-}	0,25	0,29	0,41	0,17	1,00			
NH_4^+	0,57	-0,04	0,46	-0,13	0,59	1,00		
F	0,41	0,57	0,47	0,52	-0,8	-0,25	1,00	
Fe	0,54	0,28	0,31	0,22	-0,12	0,20	0,41	1,00

Η εφαρμογή της Factor Analysis για τα επιφανειακά νερά του Ενιππέα εμφανίζεται αξιόπιστη καθώς ο δείκτης Keiser-Meyer-Olkin είναι 0,66 (>0,50) και ο δείκτης

σφαιρικότητας Bartlett's, sig (0,02) είναι <0,05 (παράρτημα Ι). Η τελική εφαρμογή της Principal Components Analysis με τη μέθοδο Varimax Rotation, προσδιορίζει τρείς παράγοντες σύμφωνα με το κριτήριο «*Cattell's Scree test*», που ερμηνεύουν το 84,9% της ολικής διακύμανσης. Οι τιμές εταιρικότητας των μεταβλητών είναι >0,5, που σημαίνει ότι το μοντέλο των τριών παραγόντων λειτουργεί ικανοποιητικά (Πίνακας 9.20):

- Ο πρώτος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία το Mg (0,93) και τα SO_4^{2-} (0,91), με μέτριο θετικό φορτίο τα HCO_3^- (0,64) και F (0,62) και εκφράζει το 33,6% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο παράγοντας αυτός σχετίζεται με τα υποστρώματα του Ενιππέα και τη λιθολογία από την οποία διέρχεται καθώς υπάρχουν περιοχές των αργιλικών ιζημάτων στις οποίες υπάρχει υλικό με οφιολιθική προέλευση, και στις οποίες επιπλέον είναι χαρακτηριστική η παρουσία των ιόντων F. Επίσης, ο παράγοντας περιγράφει τη χρήση λιπασμάτων, υπόθεση η οποία ενισχύεται και από την υψηλή θετική συσχέτιση (r=0,79) των SO_4^{2-} και Mg.
- Ο δεύτερος παράγοντας περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τα PO_4^{3-} (0,90) και τα NH_4^+ ιόντα (0,85) και εκφράζει το 26,5% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Ο παράγοντας υποδηλώνει τη χρήση λιπασμάτων, άποψη που ενισχύεται από την θετική σχέση των δύο στοιχείων (r=0,59).
- Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 24,8% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων και περιλαμβάνει με ισχυρά θετικά φορτία τις παραμέτρους Ca (0,76) και Fe (0,85). Ο παράγοντας περιγράφει τη διάβρωση των ανθρακικών σχηματισμών και οξειδίων Fe των ποτάμιων υποστρωμάτων καθώς και το χαρακτήρα προέλευσης του νερού των δύο υδατορευμάτων, Ενιππέα και Σχισμαδορέματος, αφού τροφοδοτούνται από περιοχές ασβεστόλιθων.

Πίνακας 9.20. Παραγοντικά φορτία και οι τιμές εταιρικότητας της R-τύπου παραγοντικής ανάλυσης των υδροχημικών παραμέτρων των επιφανειακών νερών του Ενιππέα.

Μεταβλητή	**1**	**2**	**3**	**Communality**
Ca	0,34	0,39	**0,76**	0,84
Mg	**0,93**	0,10	0,17	0,90
HCO_3^-	**0,64**	0,45	0,43	0,80
SO_4^{2-}	**0,91**	-0,02	0,06	0,82
PO_4^{3-}	0,23	**0,90**	-0,12	0,90
NH_4^+	-0,18	**0,85**	0,42	0,93
F	**0,62**	-0,46	0,51	0,85
Fe	0,11	-0,09	**0,85**	0,74
Διακύμανση	**33,6%**	**26,5%**	**24,8%**	**84,9%**

9.8.8 Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου θρεπτικών στοιχείων

Τα δύο βασικά ποτάμια Ενιππέας και τάφρος αφού αποστραγγίσουν την περιοχή έρευνας καταλήγουν στον Πηνειό ο οποίος και εκβάλει στο Θερμαϊκό κόλπο. Μεταφέρεται έτσι ένας όγκος ρυπογόνου φορτίου θρεπτικών στοιχείων σε ετήσια βάση, με τελική κατάληξη τη θάλασσα. Τα θρεπτικά συστατικά γενικά είναι σημαντικά στα περιβαλλοντικά συστήματα των υδάτινων πόρων (*Berbenni and Galassi* 1978), καθώς είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των οργανισμών. Η ανατροπή όμως του φυσικού κύκλου τους οδηγεί σε ευτροφισμό, συμβάλλοντας, μαζί και με άλλους παράγοντες, στην διατάραξη των περιβαλλοντικών συνθηκών διαβίωσης.

Στην παρούσα έρευνα υπολογίστηκε ο συνολικός ρυπαντικός όγκος που μετακινήθηκε από τον Απρίλιο του 2010 έως τον Μάρτιο του 2011, μέσω της απορροής από το οροπέδιο Δομοκού προς τη Θεσσαλία, περίοδο στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες

επιφανειακών νερών. Για το σκοπό αυτό αντιστοιχίστηκαν οι μηνιαίες συγκεντρώσεις των στοιχείων με τη μέση μηνιαία απορροή, όπως υπολογίστηκε από τις μετρήσεις της παροχής (Κεφ. 6, Πίνακας 6.10) και με την άθροιση των μηνιαίων τιμών πραγματοποιήθηκε σε ετήσια βάση ο υπολογισμός των ρυπαντικών φορτίων.

Τάφρος: Διαπιστώνεται ότι μέσα από την Τάφρο που αποστραγγίζει τη λεκάνη Ξυνιάδας μεταφέρονται σε ετήσια βάση 2.416,12 τόνοι SO_4^{2-}, 563,37 τόνοι NO_3^-, 386,40 τόνοι Na^+, 304,32 τόνοι Cl^-, 66,75 τόνοι K^+, 26,98 τόνοι NH_4^+ και 14,95 τόνοι PO_4^{3-} (Πίνακας 9.21).

Ενιππέας: Μέσω του Ενιππέα που αποστραγγίζει τη λεκάνη της Σκοπιάς μεταφέρονται ετήσια 1.069,33 τόνοι NO_3^-, 968,12 τόνοι SO_4^{2-}, 775,70 τόνοι Cl^-, 673,69 τόνοι Na^+, 52,75 τόνοι K^+, 14,35 τόνοι PO_4^{3-} και 6,02 τόνοι NH_4^+ (Πίνακας 9.22).

Πίνακας 9.21. Ετήσιο ρυπαντικό φορτίο θρεπτικών στοιχείων της τάφρου σε τόνους.

	SO_4	NO_3	Na	Cl	K	NH_4	PO_4
Α	373,70	35,28	43,60	17,77	3,21	0,45	0,57
Μ	9,87	26,64	7,50	18,67	1,58	0,20	1,18
Ι	25,88	15,31	4,52	12,34	1,74	0,21	0,57
Ι	6,20	8,51	1,84	6,38	0,69	0,09	0,27
Α	0,84	3,69	1,11	2,41	0,28	0,04	0,08
Σ	9,11	7,43	4,00	3,15	0,36	0,22	0,29
Ο	41,28	24,31	37,78	37,92	27,27	18,85	3,07
Ν	60,88	17,60	13,83	9,25	1,74	0,61	0,54
Δ	76,60	18,32	17,61	18,93	2,56	0,87	0,62
Ι	64,47	23,61	28,29	23,07	1,50	0,63	0,80
Φ	852,44	139,51	87,80	57,66	13,82	2,52	2,80
Μ	894,83	243,17	138,51	96,78	12,01	2,29	4,16
Σύνολο σε Τόνους	**2.416,12**	**563,37**	**386,40**	**304,32**	**66,75**	**26,98**	**14,95**

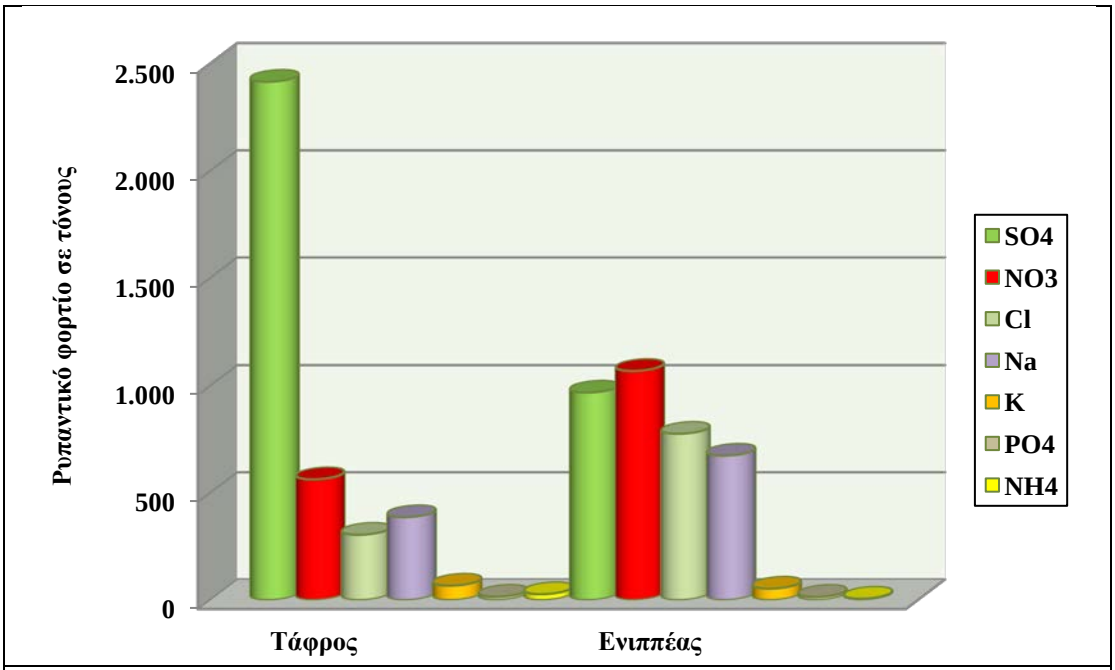
Πίνακας 9.22. Ετήσιο ρυπαντικό φορτίο θρεπτικών στοιχείων του Ενιππέα σε τόνους.

	NO_3	SO_4	Cl	Na	K	PO_4	NH_4
Α	110,02	162,24	87,21	62,71	3,61	0,32	0,21
Μ	99,53	111,08	72,92	49,94	2,06	1,14	0,27
Ι	37,77	45,79	34,46	20,57	1,78	0,67	0,13
Ι	40,90	34,67	32,96	20,30	2,12	0,73	0,04
Α	40,47	39,31	42,08	22,10	2,33	0,25	0,00
Σ	50,80	58,85	16,16	32,51	0,56	0,29	0,06
Ο	69,37	18,43	47,73	36,53	0,40	1,12	0,37
Ν	55,46	70,31	52,58	41,33	1,48	0,31	0,22
Δ	63,64	63,60	58,62	49,18	1,20	0,28	0,21
Ι	76,88	150,66	57,19	66,13	8,60	2,69	0,69
Φ	118,15	113,19	103,50	88,73	9,51	2,08	1,51
Μ	306,34	99,99	170,27	183,66	19,09	4,49	2,32
Σύνολο σε Τόνους	**1.069,33**	**968,12**	**775,70**	**673,69**	**52,75**	**14,35**	**6,02**

Το ρυπαντικό φορτίο αντικατοπτρίζει τις ανθρωπογενείς πιέσεις που ασκούνται στο οροπέδιο μέσω των γεωργικών δραστηριοτήτων (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, απόβλητα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων) και της οικιστικής ανάπτυξης (λύματα και απορρίμματα), καθώς και από γεωγενείς διεργασίες.

Η παρουσία των NH_4^+ είναι ένα δείκτης άμεσης ρύπανσης, σε αντίθεση με την παρουσία των NO_3^- που υποδεικνύει ότι η ρύπανση των υδάτων δεν είναι πρόσφατη (*Stambuk-Giljanovic* 2006). Η αυξημένη παρουσία των NO_3^- και PO_4^{3-} στο νερό, που απεικονίζει την τρέχουσα κατάσταση της ποιότητας του, προκαλείται κυρίως από τη χρήση λιπασμάτων (*Graham* 1995), ενώ επιπλέον ως πηγή των φωσφορικών αλάτων θεωρούνται και τα απορρυπαντικά που περιέχονται στα οικιακά λύματα (*Maki et al.* 1984).

Η σύγκριση του μετακινούμενου ρυπαντικού φορτίου στην έξοδο των δύο λεκανών εμφανίζει μεγαλύτερο τον όγκο των SO_4^{2-} στην τάφρο εξαιτίας του οργανικού φορτίου της πρώην λίμνης. Αντίθετα, από τον Ενιππέα μεταφέρεται μεγαλύτερος όγκος NO_3^-, γεγονός που σχετίζεται, όπως προαναφέρθηκε με την υπερβολική χρήση λιπασμάτων στη λεκάνη Σκοπιάς (Σχήμα 9.125).



Σχήμα 9.125. Σύγκριση του ετήσιου μεταφερόμενου ρυπαντικού φορτίου σε θρεπτικά στοιχεία, από τις εξόδους των δύο λεκανών της περιοχής έρευνας.

9.8.9 Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου βαρέων μετάλλων

Από την αντιστοίχιση των μηνιαίων συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων, με την παροχή και την άθροιση των μηνιαίων τιμών, υπολογίστηκαν σε δωδεκάμηνη βάση τα ρυπαντικά φορτία σε βαρέα μέταλλα που μετακινούνται από το οροπέδιο Δομοκού προς την Θεσσαλία.

Τάφρος: Μέσα από την τάφρο μετακινούνται σε ετήσια βάση προς τη λίμνη Σμοκόβου 3,56 τόνοι Fe, 2,88 τόνοι Ni, 0,16 τόνοι Cr, 0,17 τόνοι Mn και 0,04 τόνοι Zn (Πίνακας 9.23, (Σχήμα 9.126).

Ενιππέας: Μέσω του Ενιππέα μεταφέρονται προς τον Πηνειό το έτος 6,57 τόνοι Fe, 3,09 τόνοι Ni, 0,42 τόνοι Cr, 0,17 τόνοι Mn και 0,09 τόνοι Zn (Πίνακας 9.23, Σχήμα 9.126).

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων έχει γεωγενή προέλευση και σχετίζεται κύρια με την ύπαρξη υπερβασικών πετρωμάτων και Fe οξειδίων στην περιοχή έρευνας. Σημαντική είναι επίσης και η ανθρωπογενής επίδραση με τη χρήση λιπασμάτων, αγροχημικών και εδαφοβελτιωτικών, δεδομένου, ότι κάποια από αυτά περιέχουν βαρέα μέταλλα (*Kabata-Pendias and Pendias* 1992, *Alloway* 1995, *Siegel* 2002, *Kabata-Pendias and Mukjerjee* 2007). Ο όγκος σε βαρέα μέταλλα των επιφανειακών νερών σχετίζεται άμεσα με τα έντονα φαινόμενα παροχής των ποταμών κατά την περίοδο των δειγματοληψιών. Προκαλεί τοπικά υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών νερών, ενώ επιπλέον κατά την ροή των

ποταμών, μέρος των μεταλλικών ιχνοστοιχείων αποτίθενται μέσω καθίζησης στα υποστρώματα των ποταμών.

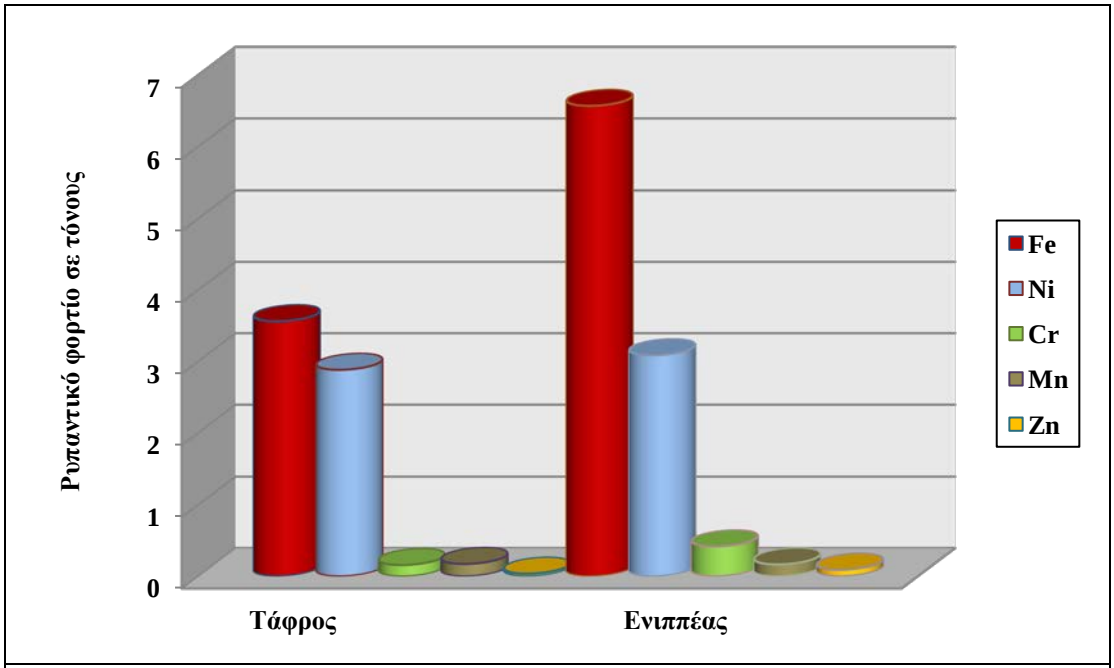
9.8.10 Καταλληλότητα χρήσης των επιφανειακών νερών

Η σύγκριση με τα σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/ΕΚ, ΦΕΚ 892/Β/11) εμφανίζει τις συγκεντρώσεις των Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ και Br^- όπως και των βαρέων μετάλλων Fe, Ni, Cr πάνω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

Η ταξινόμηση των επιφανειακών νερών του οροπεδίου Δομοκού όσον αφορά στην καταλληλότητά τους για άρδευση πραγματοποιήθηκε με το διάγραμμα Richards. Με βάση

Πίνακας 9.23. Ετήσιο μεταφερόμενο ρυπαντικό φορτίο σε βαρέα μέταλλα της τάφρου και του Ενιππέα σε τόνους.

	ΤΑΦΡΟΣ					ΕΝΙΠΠΕΑΣ				
	Fe	**Ni**	**Cr**	**Mn**	**Zn**	**Fe**	**Ni**	**Cr**	**Mn**	**Zn**
Α	0,28	0,65	0,00	0,05	0,00	0,55	0,55	0,00	0,00	0,00
Μ	0,37	0,26	0,00	0,00	0,00	0,79	0,10	0,24	0,00	0,00
Ι	0,23	0,14	0,00	0,00	0,00	0,36	0,30	0,00	0,00	0,00
Ι	0,09	0,11	0,00	0,00	0,00	0,31	0,04	0,00	0,02	0,00
Α	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,21	0,08	0,02	0,01	0,00
Σ	0,08	0,08	0,03	0,00	0,00	0,36	0,14	0,00	0,00	0,00
Ο	0,16	0,16	0,08	0,07	0,00	0,32	0,12	0,03	0,02	0,00
Ν	0,12	0,13	0,00	0,00	0,01	0,37	0,17	0,06	0,00	0,02
Δ	0,13	0,09	0,01	0,01	0,01	0,37	0,25	0,02	0,01	0,02
Ι	0,29	0,04	0,02	0,00	0,00	0,33	0,20	0,00	0,00	0,01
Φ	0,74	0,67	0,00	0,01	0,00	0,93	0,67	0,02	0,06	0,01
Μ	1,02	0,51	0,01	0,02	0,01	1,68	0,46	0,01	0,02	0,02
Σύνολο σε Τόνους	**3,56**	**2,88**	**0,16**	**0,17**	**0,04**	**6,57**	**3,09**	**0,42**	**0,17**	**0,09**



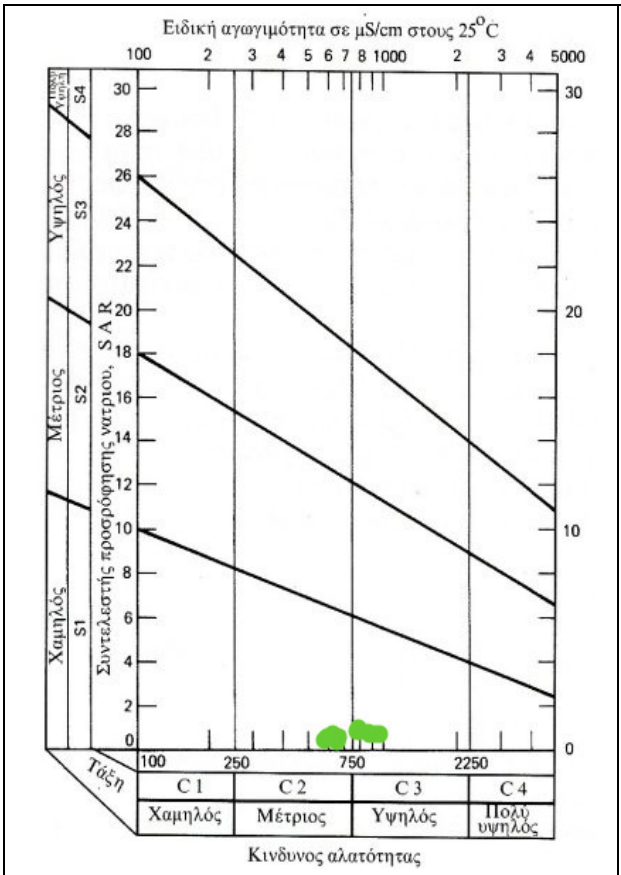
Σχήμα 9.126. Σύγκριση του ετήσιου μεταφερόμενου ρυπαντικού φορτίου σε βαρέα μέταλλα, από τις εξόδους των δύο λεκανών της περιοχής έρευνας.

αυτή την ταξινόμηση τα νερά κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες (*Καλλέργης* 2000) (Σχήμα 9.127α-β):

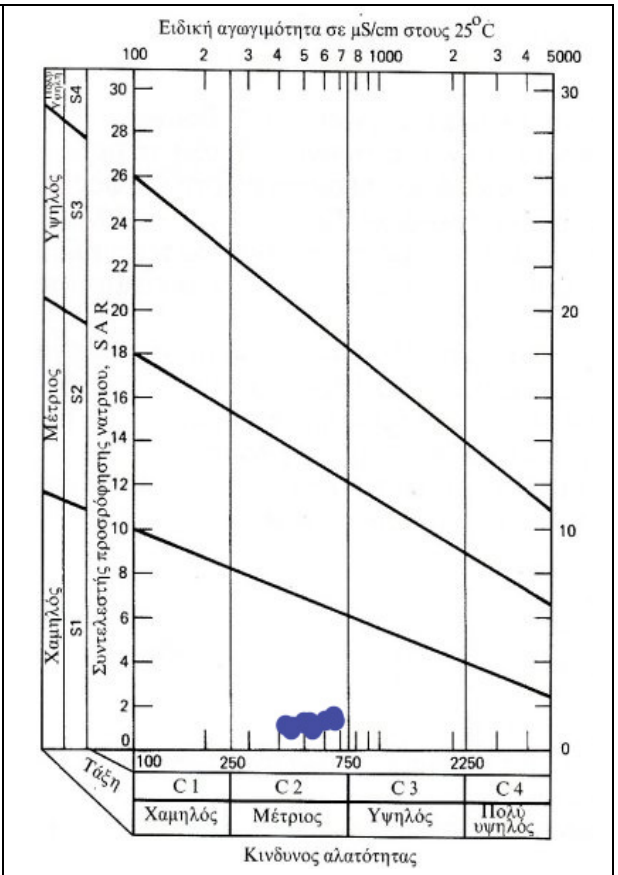
1) C2.S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν νερά τα οποία παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας. Τα νερά αυτά απαιτούν εδάφη με μέτρια απόπλυση, που στραγγίζονται καλά και φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 5 δείγματα της Τάφρου από το Μάιο έως και το Σεπτέμβριο και όλα τα δείγματα του Ενιππέα.

2) C3.S1: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν νερά που παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Είναι ακατάλληλα για καλλιέργεια ευαίσθητων φυτών και για άρδευση εδαφών με περιορισμένη στράγγιση. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν 7 δείγματα της Τάφρου από τον Οκτώβριο έως και το Μάρτιο.

Διαπιστώνεται ότι τα νερά της τάφρου σε ποσοστό 41,7% παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας και σε ποσοστό 58,3 % παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας. Σε αντίθεση, τα νερά του Ενιππέα στο σύνολο τους παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας. Εμφανίζουν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά και μεγαλύτερο βαθμό καταλληλότητας για άρδευση από εκείνα της Τάφρου.



Σχήμα 9.127α. Διάγραμμα Richards για τα επιφανειακά νερά της τάφρου Ξυνιάδας.



Σχήμα 9.127β. Διάγραμμα Richards για τα επιφανειακά νερά του Ενιππέα.

10. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι κυριότεροι στόχοι της διατριβής ήταν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη γεωμορφολογία, το υδατικό ισοζύγιο, τους γεωγενείς και ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν νερά και εδάφη στο οροπέδιο Δομοκού, τη χωρική διαφοροποίηση αυτών μεταξύ των λεκανών και τη σύγκριση των επιπέδων των χημικών στοιχείων σε νερό και εδάφη με τα ευρωπαϊκά πρότυπα ποιότητας.

Η έρευνα κατέδειξε ότι ενώ η λεκάνη του οροπεδίου εμφανίζεται να είναι σε μορφή σταδίου γήρατος με τη διάβρωση να έχει μετακινήσει το μεγαλύτερο ποσοστό της μάζα της, στην πραγματικότητα βρίσκεται σε ένα μεταβατικό στάδιο (monadnock phase). Το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασής της χαρακτηρίζεται από επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο, αντιπροσωπεύοντας το κεντρικό κομμάτι του οροπεδίου και τις καλλιεργούμενες περιοχές. Η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς, στις περιοχές με κλίση 2^0-5^0 θα μπορούσαν να αποτελέσουν μέτρα προστασίας από τη διάβρωση. Οι βόρειοι προσανατολισμοί των κλίσεων καλύπτουν περισσότερο από το μισό της λεκάνης του οροπεδίου, ενώ ο ΒΔ προσανατολισμός αποτελεί την κυρίαρχη κλάση. Στη συντριπτική του πλειοψηφία το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται λοφώδες (<600m), χαρακτηριστικό που παρατηρείται σε όλη την έκταση των τεταρτογενών αποθέσεων, κατέχοντας μάλιστα μεγάλο μέρος και από τους υπόλοιπους σχηματισμούς.

Η πρώην λίμνη Ξυνιάδας ήταν μια πλειστοκαινική εσωτερική λίμνη έκτασης 32 km^2 περίπου με μέγιστο βάθος περίπου 5,5 m. Προήλθε από την τεκτονική δράση ρηγμάτων που δημιούργησαν ένα τοπικό βύθισμα που πληρώθηκε με χερσαίες και ποταμοχειμάριες αποθέσεις. Η ύπαρξη αυτής της πρώην λίμνης, η οποία καταλάμβανε ένα μεγάλο κομμάτι και το κατά μεγάλο μέρος επίπεδο ανάγλυφο ευνόησαν το σχηματισμό αραιού υδρογραφικού δικτύου στη λεκάνη Ξυνιάδας. Η μορφή του μπορεί να χαρακτηριστεί κατά τόπους δενδριτικό και παράλληλης μορφής. Αντιθέτως, στη λεκάνη Σκοπιάς η παρουσία κυρίως μη περατών σχηματισμών και οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, ευνόησαν τη δημιουργία νέων κλάδων και οδήγησαν στο σχηματισμό πυκνότερου υδρογραφικού δικτύου δενδριτικής μορφής. Το υδρογραφικό δίκτυο βρίσκεται σε στάδιο νεότητας και για τις δύο λεκάνες και δεν επιτρέπει τη βέλτιστη αποστράγγισή τους και σε συνδυασμό με τη δενδριτική μορφή του, δικαιολογούν την υπεροχή της επιφανειακής απορροής έναντι της κατείσδυσης. Οι αρνητικές αποκλίσεις από τις ιδανικές τιμές των κλάδων $6^{ης}$ τάξης στη λεκάνη Ξυνιάδας και $7^{ης}$ τάξης στη λεκάνη Σκοπιάς αντανακλούν τη μειωμένη ικανότητα αποστράγγισης των εκτάσεών τους. Το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τα πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν ανά καιρούς συμβεί στις εκτάσεις που αποστραγγίζουν οι συγκεκριμένοι κλάδοι. Έργα διάνοιξης της κοίτης της τάφρου ανάντη και κατάντη της γέφυρας των Αγγειών και της κοίτης του Ενιππέα κατάντη της συμβολής με το Σχισμασδόρρεμα και προς την έξοδο της λεκάνης θα αποτελούσαν μέτρα αντιμετώπισης, προστασίας και διαχείρισης των φαινομένων.

Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή έρευνας έχουν κύρια χαρακτηριστικά την εναλλαγή μιας περιόδου υγρής και ψυχρής που αρχίζει, σύμφωνα με τις τιμές του ύψους των βροχοπτώσεων και τις θερμοκρασίες, τον Οκτώβριο και μιας ξηρής και θερμής που αρχίζει στα μέσα του μήνα Μαΐου. Ο Δεκέμβριος είναι ο μήνας με την μεγαλύτερη βροχόπτωση και ακολουθεί ο Νοέμβριος και ο Μάρτιος, ενώ ο Ιούνιος και ο Αύγουστος είναι οι ξηρότεροι μήνες του έτους. Οι θερμοκρασίες το χειμώνα πέφτουν κάτω από το μηδέν, ενώ το καλοκαίρι καταγράφονται θερμοκρασίες άνω των 40^oC. Οι χωρικές ολοκληρώσεις βροχής και θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκαν με το συνδυασμό της υψομετρικής και της μεθόδου των σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τη λεκάνη Ξυνιάδας η ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 594,1 mm βροχής και η μέση ετήσια θερμοκρασία σε $14,8^oC$, ενώ για την λεκάνη Σκοπιάς σε 697,9 mm βροχής και $14,8^oC$

αντίστοιχα. Το κλίμα από τον Ιούνιο έως και τον Αύγουστο χαρακτηρίζεται ως υπέρξηρο και για τις δύο λεκάνες, ενώ η αρδευτική περίοδος του έτους διαρκεί παρόμοια από το τελευταίο δεκαήμερο του Απριλίου μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου.

Η υψηλή επιφανειακή απορροή της περιοχής έρευνας επιβεβαιώθηκε από τις μετρήσεις των παροχών στα ποτάμια. Από το οροπέδιο απορρέουν ετήσια 77.223.046 m^3 νερού από τα οποία τα 27.543.038 m^3 από τη λεκάνη Ξυνιάδας και τα 49.680.008 m^3 από τη λεκάνη Σκοπιάς. Το υδατικό ισοζύγιο, υπολογίστηκε με την εφαρμογή του αδρομερούς εννοιολογικού μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής «ΖΥΓΟΣ», ενώ οι μετρημένες τιμές της απορροής σε τρία σημεία της λεκάνης, επέτρεψαν τη ρύθμιση (calibration) του μοντέλου. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την υπεροχή της επιφανειακής απορροής έναντι της κατείσδυσης. Στη λεκάνη Ξυνιάδας η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 62,7% των κατακρημνισμάτων, η απορροή το 22,5% και η κατείσδυση το 14,8%. Σε αντίθεση στη λεκάνη Σκοπιάς η ύπαρξη σε μεγάλο μέρος της λεκάνης μη περατών σχηματισμών, οδηγεί σε υψηλότερο συντελεστή απορροής (22,8%) και χαμηλότερο συντελεστή κατείσδυσης (13,0%), ενώ η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 64,2% των κατακρημνισμάτων.

Κρίνεται απαραίτητο η μέτρηση της ποτάμιας παροχής σε 10ημερη βάση, από τις αρμόδιες υπηρεσίες των Περιφερειών με τη δημιουργία χρονοσειράς μετρήσεων. Με τον τρόπο αυτό θα μπορέσει να γίνει εκτίμηση του νερού που απορρέει, των υδατικών αποθεμάτων και του νερού που μπορεί τελικά να γίνεται χρήση από τους γεωργούς για άρδευση.

Εξαιτίας του οφιολιθικού και ανθρακικού μητρικού υλικού, στα εδάφη της περιοχής έρευνας επικρατούν τα χονδρόκοκκα κλάσματα της άμμου και χαρακτηρίζονται στην πλειοψηφία τους αμμοπηλώδη και πηλοαμμώδη. Παρουσιάζουν καλές συνθήκες στράγγισης και αερισμού, σχετικά μικρή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων, και σε συνδυασμό με τα χαμηλά ποσοστά σε οργανική ουσία και τα υψηλά ποσοστά $CaCO_3$ είναι στην πλειοψηφία τους φτωχά εδάφη. Εξαίρεση αποτελούν τα εδάφη της περιοχής της πρώην λίμνης λόγω των υψηλών ποσοστών σε οργανική ουσία.

Οι ολικές συγκεντρώσεις Fe και Mn στα καστανοκόκκινα εδάφη της περιοχής έρευνας σχετίζονται με την παρουσία των οξειδίων τους, ενώ οι υψηλές τιμές των Co, Ni και Cr σχετίζονται με το οφιολιθικό υπόβαθρο. Οι υψηλές τιμές pH και $CaCO_3$ της περιοχής έρευνας, μειώνουν την κινητικότητα και βιοδιαθεσιμότητα των μεταλλικών ιχνοστοιχείων και είναι η αιτία της μικρής ποσοστιαίας συμμετοχής των υδατοδιαλυτών μορφών επί των ολικών. Η επίδραση του ανθρωπογενούς παράγοντα στην ρύπανση των εδαφών σε βαρέα μέταλλα προσδιορίζεται ως μικρότερη του 0,01%.

Βάση των τιμών του εδαφικού pH, το χρώμιο βρίσκεται στην Cr^{3+} μορφή του, καθώς η διαλυτότητα του Cr^{6+} στα εδάφη σε pH 6-8 είναι πάρα πολύ μικρή και έχει σταθερή τιμή. Τα εδάφη αναφοράς, εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά άμμου στη σύστασή τους καθώς στην πλειοψηφία τους προέρχονται από πετρώματα, χαμηλότερες τιμές στις φυσικοχημικές παραμέτρους και στα Zn, Cd γεγονός που συνδέεται με την έντονη παρουσία των δύο στοιχείων σε ιζηματογενή πετρώματα. Αντιθέτως οι τιμές Mn και Cu, είναι υψηλότερες φαινόμενο που σχετίζεται με την ισχυρή παρουσία των δύο μετάλλων στα βασικά πετρώματα της περιοχής έρευνας, ενώ οι τιμές Fe, Pb, Ni, Co, και Cr εμφανίζονται σε παρόμοια επίπεδα.

Η σύγκριση των λεκανών εμφανίζει στη λεκάνη Ξυνιάδας υψηλότερες τιμές οργανικής ουσίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας εξαιτίας της πρώην λίμνης, Ni και Cr λόγω της παρουσίας των οφιόλιθων. Στη λεκάνη Σκοπιάς εμφανίζονται υψηλότερες τιμές Fe, Mn και Zn που σχετίζονται με την παρουσία των στοιχείων σε εδάφη προερχόμενα από την αποσάθρωση ασβεστολιθικών πετρωμάτων, σε ιζηματογενή πετρώματα, σε σχιστόλιθους και αργιλώδη ιζήματα.

Σύμφωνα με τη παραγοντική ανάλυση, η παρουσία των Ni και Cr στο οροπέδιο Δομοκού σχετίζεται με την εξαλλοίωση του πλούσιου σε οφιολιθικά πετρώματα γεωλογικού

υποβάθρου, των Fe και Zn με τα μητρικά πετρώματα, του Cu συνδέεται με τα οξείδια Mn στα βασικά πετρώματα και του Co με τα βασικά και υπερβασικά πετρώματα της περιοχής. Η ανάλυση σε ομάδες ενίσχυσε τα συμπεράσματα αυτά και επιπλέον επιβεβαίωσε τη σχέση του Co με το Pb στα αργιλικά ιζήματα των εδαφών με γεωλογικό υπόβαθρο βασικά-υπερβασικά πετρώματα. Τα ανωτέρω συμπεράσματα ερμηνεύουν και τη γεωγενούς προέλευσης ρύπανση των εδαφών, καθώς είναι επιβαρυμένα σε Co, Ni και Cu, δεδομένου ότι ξεπερνούν το μέγιστο αποδεκτό όριο ρύπανσης εδαφών της «The New Dutchlist». Απαιτείται ένα πρόγραμμα ολοκληρωμένης διαχείρισης, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η σχέση των εδαφών με τον τελικό αποδέκτη, να καθοριστεί ο βαθμός κινδύνου εάν αυτός υπάρχει και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την διαχείριση του.

Ο χημισμός των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας διαμορφώνεται από γεωγενείς διαδικασίες αλλά και από ανθρωπογενή δραστηριότητα ρυπογόνου μορφής. Η παρουσία οξειδίων σιδήρου, οφιολιθικών και ανθρακικών πετρωμάτων, του οργανικού υλικού της τέως λίμνης, η χρήση λιπασμάτων και η έλλειψη αποχετευτικού δικτύου είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τα υπόγεια νερά και διαφοροποιούν τον υδροχημισμό μεταξύ των λεκανών. Το συμπέρασμα ενισχύεται από τη χωρική κατανομή των υδροχημικών παραμέτρων.

Στη λεκάνη Ξυνιάδας διαπιστώνονται υψηλότερες τιμές Na^+, Cl^-, HCO_3^-, Mn λόγω της ύπαρξης εβαποριτικών στρωμάτων, Mg εξαιτίας της παρουσίας των οφιόλιθων και χαμηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου και NO_3^-, με υψηλότερες τιμές SO_4^{2-} και NH_4^+ εξαιτίας της αποδόμησης της οργανικής ύλης. Αντιθέτως, στη λεκάνη Σκοπιάς παρουσιάζονται οι αυξητικές τάσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, εξαιτίας της διαρροής αστικών λυμάτων και των NO_3^- και Zn, λόγω της χρήσης αγροχημικών. Οι δύο λεκάνες χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλές τιμές TDS, υψηλές τιμές σιδήρου λόγω της διάβρωσης των οξειδίων του, νικελίου και χρωμίου εξαιτίας της παρουσίας οφιολιθικών πετρωμάτων, με επικρατούσα μορφή του χρωμίου το υδροξυ-σύμπλοκο $Cr(OH)_3$ aq του τρισθενούς χρωμίου.

Από την υγρή στην ξηρή περίοδο παρουσιάζεται αύξηση στις περισσότερες υδροχημικές παραμέτρους, καθώς η κυκλοφορία του νερού στις υδρογεωτρήσεις προκαλεί την ανάμιξη νερών από πιο μεγάλα βάθη, στα οποία ο χρόνος παραμονής στο υδροφόρο σύστημα και η αλληλεπίδραση με το έδαφος είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον, το ξηρό κλίμα και οι καλλιεργητικές πρακτικές αυξάνουν τις συγκεντρώσεις μερικών διαλυμένων ουσιών.

Ο επικρατέστερος υδροχημικός τύπος (Ca-Mg-HCO_3) και οι ιοντικοί λόγοι υποδεικνύουν το γρήγορο εμπλουτισμό, την ανανέωση και τη συνεχή τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων από υδροφορείς ασβεστολιθικών και οφιολιθικών πετρωμάτων. Η πλειοψηφία των νερών είναι μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης με ακαθόριστο υδροχημικό τύπο. Στα υπόλοιπα νερά η υδροχημική τους εξέλιξη καθορίζεται από τις φάσεις Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3, Ca-Cl και Mg-Cl. Σύμφωνα με την υδρογεωχημική προσομοίωση τα κύρια ορυκτά των πετρωμάτων που διαλύονται είναι αλίτης (NaCl), ασβεστίτης ($CaCO_3$), δολομίτης ($CaMg(CO_3)_2$) και ανυδρίτης ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Τα νερά παρουσιάζονται με τάση διάλυσης ανυδρίτη και γύψου ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), φθορίτη (CaF_2), σιδερίτη ($FeCO_3$) και μαγνησίτη ($MgCO_3$) και μικρή τάση διάλυσης ασβεστίτη και αραγωνίτη ($CaCO_3$) καθώς και δολομίτη ($CaMg(CO_3)_2$).

Η παραγοντική ανάλυση υποδεικνύει τη ρύπανση των περισσότερων πηγών από τη διαρροή αστικών λυμάτων από απορροφητικούς βόθρους και τη χρήση λιπασμάτων, συμπέρασμα που επιβεβαιώνεται από την υψηλή συσχέτιση (0,92) μεταξύ νιτρικών και χλωρίου. Η παρουσία των Na, Cl, Mn, και HCO_3^- στα υπόγεια νερά των γεωτρήσεων στη λεκάνη Ξυνιάδας αποδίδεται στην ύπαρξη εβαποριτικής κρούστας στα οργανικά υπολείμματα, η οποία δημιουργήθηκε κατά την παλαιογεωγραφική εξέλιξη της πρώην λίμνης. Η ύπαρξη των NO_3^-, NH_4^+, και K^+ σχετίζεται με τη χρήση λιπασμάτων, σε αντίθεση

με αυτή των F^-, PO_4^{3-} και Ni που έχουν προέλευση τα ηφαιστειογενή και υπερβασικά πετρώματα της περιοχής.

Με βάση τα σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 98/83/ΕΚ, ΦΕΚ 892/Β/11), οι συγκεντρώσεις των Ca^{2+}, NO_3^-, Br^- και των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, και Cr βρίσκονται πάνω από το ανώτατα επιτρεπτά όρια. Σύμφωνα με την κατά Richards ταξινόμηση, τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας, απαιτώντας εδάφη που στραγγίζονται καλά και φυτά με μέτρια ανθεκτικότητα σε άλατα. Τα νερά θεωρούνται κατάλληλα για άρδευση αλλά ακατάλληλα για ύδρευση.

Η προέλευση των μεταλλικών ιχνοστοιχείων στα νερά της περιοχής έρευνας προσδιορίζεται από τη σύγκριση των χωρικών κατανομών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων σε εδάφη και νερό. Οι ομοιότητες των χωρικών κατανομών της υδατοδιαλυτής φάσης και της συνδεδεμένης με την οργανική ουσία, ανθρακικές ενώσεις και τα οξείδια Fe και Mn εδαφικού σιδήρου με τις αντίστοιχες των υπόγειων νερών, ενισχύει την υπόθεση της γεωγενούς προέλευσης του στοιχείου. Αντίθετα, η απουσία σύνδεσης των χωρικών κατανομών των μορφών εδαφικού Mn με αυτές των υπογείων νερών επιβεβαιώνει ότι η ύπαρξη του μετάλλου στα υπόγεια νερά οφείλεται στην ύπαρξη εβαποριτικών στρωμάτων στην περιοχή της πρώην λίμνης.

Οι μη ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις χαλκού στα υπόγεια και επιφανειακά νερά έρχονται σε αντίθεση με τις συγκεντρώσεις του στοιχείου στα εδάφη. Σχετίζονται με τη μηδενική μετακίνηση του από το έδαφος εξαιτίας της έκπλυσης, καθώς είναι ένα από τα πιο δυσκίνητα βαρέα μέταλλα.

Ομοιότητα παρουσιάζεται μεταξύ της χωρικής κατανομής Zn των υπόγειων νερών με την αντίστοιχη των ανταλλάξιμων μορφών εδαφικού Zn. Η προέλευση του μετάλλου σχετίζεται με τη χρήση λιπασμάτων και εμφανίζεται στις περιοχές με χαμηλότερες τιμές εδαφικού pH, καθώς επηρεάζει τη διαλυτότητα και διαθεσιμότητα του στοιχείου στα εδάφη. Η σύγκριση της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων Cd στα υπόγεια νερά με τις αντίστοιχες του εδαφικού Cd εμφανίζει ομοιότητα με όλες τις εδαφικές του φάσεις, επιβεβαιώνοντας το γεωγενή και ανθρωπογενή λόγω της χρήσης φωσφορικών λιπασμάτων χαρακτήρα του, καθώς αποτελεί βασικό ιχνοστοιχείο τους. Επιπλέον επιβεβαιώνεται, η γεωγενής προέλευση του Pb καθώς οι χωρικές κατανομές της συνδεδεμένης με την οργανική ουσία, ανθρακικές ενώσεις και τα οξείδια Fe και Mn μορφής και της δεσμευμένης στο πλέγμα των ορυκτών φάσης των εδαφικών μορφών του Pb, παρουσιάζουν ομοιότητες με τις αντίστοιχες των υπογείων νερών.

Οι ανταλλάξιμες μορφές του εδαφικού Ni παρουσιάζουν τις ίδιες αυξητικές τάσεις με αυτές των υπογείων νερών, γεγονός που αποδίδεται στην κινητικότητα του στοιχείου σε εδάφη πλούσια σε υπόστρωμα οργανικών και με χαμηλότερες τιμές pH. Οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου, είναι μη ανιχνεύσιμες στα υπόγεια νερά, σε αντίθεση με την υψηλή παρουσία του στα εδάφη, και συνδέεται με την τάση προσρόφησης του στοιχείου από τα ένυδρα οξείδια των Fe και Mn και τη χαμηλή κινητικότητα του μετάλλου στο εδαφικό διάλυμα.

Η σύγκριση της χωρικής κατανομής του Cr των υπόγειων νερών με τις αντίστοιχες του εδαφικού χρωμίου εμφανίζει ομοιότητες με όλες τις φάσεις του, με τις αυξητικές τιμές του μετάλλου να εμφανίζονται στις περιοχές με αυξημένη την παρουσία των οφιόλιθων, ενισχύοντας το συμπέρασμα της γεωγενούς προέλευσής του.

Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών νερών του Ενιππέα διαφοροποιούνται κατά το μήκος του. Οι τιμές των θειικών, νιτρικών, φωσφορικών και αμμωνιακών ιόντων παρουσιάζονται υψηλότερες στη Μαντασιά, λόγω της έκπλυσης λιπασμάτων και νερών αποστραγγίσεων της άρδευσης των καλλιεργειών. Στη Σκοπιά, μετά την ένωση του Ενιππέα με το συμβαλλόμενο Σχισμαδόρεμα που διασχίζει δασικές εκτάσεις, η αραίωση των στοιχείων σε μεγαλύτερο όγκο νερού μειώνει τις συγκεντρώσεις τους.

Στην τάφρο επικρατεί το μαγνήσιο, λόγω της ισχυρής παρουσίας των οφιόλιθων, τα θειικά εξαιτίας της αποδόμησης του οργανικού υλικού και τα αμμωνιακά ιόντα που οφείλονται στην έκπλυση λιπασμάτων και ρυπογόνων φορτίων από κτηνοτροφικές μονάδες, που μέσω των υδάτινων ρευμάτων έχουν τελική κατάληξη το ποτάμι. Η τελευταία διαπίστωση ενισχύεται από την υψηλή συσχέτιση των NH_4^+ με τα Cl^-.

Η έντονη παρουσία των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά συνδέεται με τη διάλυση οξειδίων Fe και υπερβασικών πετρωμάτων, καθώς και των προϊόντων αποσάθρωσής τους, των υποστρωμάτων των ποταμών της περιοχής έρευνας. Τα νερά του Ενιππέα έχουν υδροχημικό τύπο Ca-HCO_3, παρόμοια με τη μεγάλη πλειοψηφία των ποταμών στα Βαλκάνια, ενώ τα νερά της τάφρου είναι του υδροχημικού τύπου Mg-HCO_3 που σχετίζεται με την παρουσία των οφιόλιθων στην περιοχή. Στα νερά της τάφρου στην πλειοψηφία τους βρίσκεται σε εξέλιξη το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής, και η υδροχημική εξέλιξη καθορίζεται από τις φάσεις Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3. Τα νερά του Ενιππέα είναι κυρίως νερά μίξης ή νερά διαλυτοποίησης.

Οι συγκεντρώσεις των Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ και Br^- όπως και των βαρέων μετάλλων Fe, Ni, Cr παρουσιάζουν τιμές πάνω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά, ενώ η μορφή Cr που επικρατεί είναι όπως και στα υπόγεια νερά το υδροξυ-σύμπλοκο $Cr(OH)_3$ aq του τρισθενούς χρωμίου. Η κατά Richards ταξινόμηση εμφανίζει τα νερά του Ενιππέα με μικρότερο κίνδυνο αλατότητας από εκείνα της αποστραγγιστικής τάφρου, κάνοντάς τα καταλληλότερα για άρδευση.

Τα ποτάμια του οροπεδίου Δομοκού μεταφέρουν ετήσια, μέσω του Πηνειού στη Θεσσαλία, ένα μεγάλο όγκο φορτίου θρεπτικών στοιχείων, προκαλώντας τοπικά υποβάθμιση της ποιότητας των επιφανειακών νερών. Από την τάφρο μεταφέρονται 2.416,12 τόνοι SO_4^{2-}, 563,37 τόνοι NO_3^-, 26,98 τόνοι NH_4^+ και 14,95 τόνοι PO_4^{3-}. Από τον Ενιππέα 1.069,33 τόνοι NO_3^-, 968,12 τόνοι SO_4^{2-}, 14,35 τόνοι PO_4^{3-} και 6,02 τόνοι NH_4^+.

Τα ετήσια φορτία βαρέων μετάλλων που μετακινούνται ετήσια από τον Ενιππέα προς τον Πηνειό είναι 6,57 τόνοι Fe, 3,09 τόνοι Ni, 0,42 τόνοι Cr, 0,17 τόνοι Mn και 0,09 τόνοι Zn. Μέσα από την Τάφρο 3,56 τόνοι Fe, 2,88 τόνοι Ni, 0,16 τόνοι Cr, 0,17 τόνοι Mn και 0,04 τόνοι Zn.

Απαραίτητη κρίνεται η εφαρμογή ενός προγράμματος περιβαλλοντικής παρακολούθησης της υδροχημικής κατάστασης των υπόγειων και επιφανειακών νερών στα πλαίσια των σχεδίων διαχείρισης των λεκανών απορροής. Θα μπορεί να καθορίζεται έτσι ο βαθμός περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και οι μεταβολές του στο χρόνο, ώστε να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα προστασίας και αποκατάστασης.

Η πρώην λίμνη Ξυνιάδας ήταν μια πλειστοκαινική εσωτερική λίμνη έκτασης 32 km^2 περίπου με μέγιστο βάθος περίπου 5,5 m. Προήλθε από την τεκτονική δράση ρηγμάτων που δημιούργησαν ένα τοπικό βύθισμα που πληρώθηκε με χερσαίες και ποταμοχειμάριες αποθέσεις. Η αποξήρανση της λίμνης αποκάλυψε εύφορα γόνιμα και τυρφώδη εδάφη, που σε συνδυασμό με την ύπαρξη υπόγειων υδάτων στη περιοχή συνετέλεσαν στην ανάπτυξη εντατικής γεωργίας και στην οικονομική ευμάρεια της περιοχής. Τα τελευταία όμως χρόνια, η μείωση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων μαζί με τη μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών, οδήγησε σε οικονομικά προβλήματα και αύξηση της μετακίνησης του πληθυσμού προς τα αστικά κέντρα. Στην προσπάθεια ανεύρεσης λύσεων για τα προβλήματα αυτά, η πρώην Νομαρχία Φθιώτιδας ανάθεσε το 2008 στο Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) τη μελέτη επαναδημιουργίας της τέως λίμνης Ξυνιάδας ή τμήματος αυτής. Ο σκοπός είναι η αποκατάσταση κατά το δυνατό του συνόλου των λειτουργιών του υγροτόπου που απωλέσθησαν, οι οποίες εντοπίζονται στα αγαθά και τις υπηρεσίες που θα αποκομίζει από τον υγρότοπο.

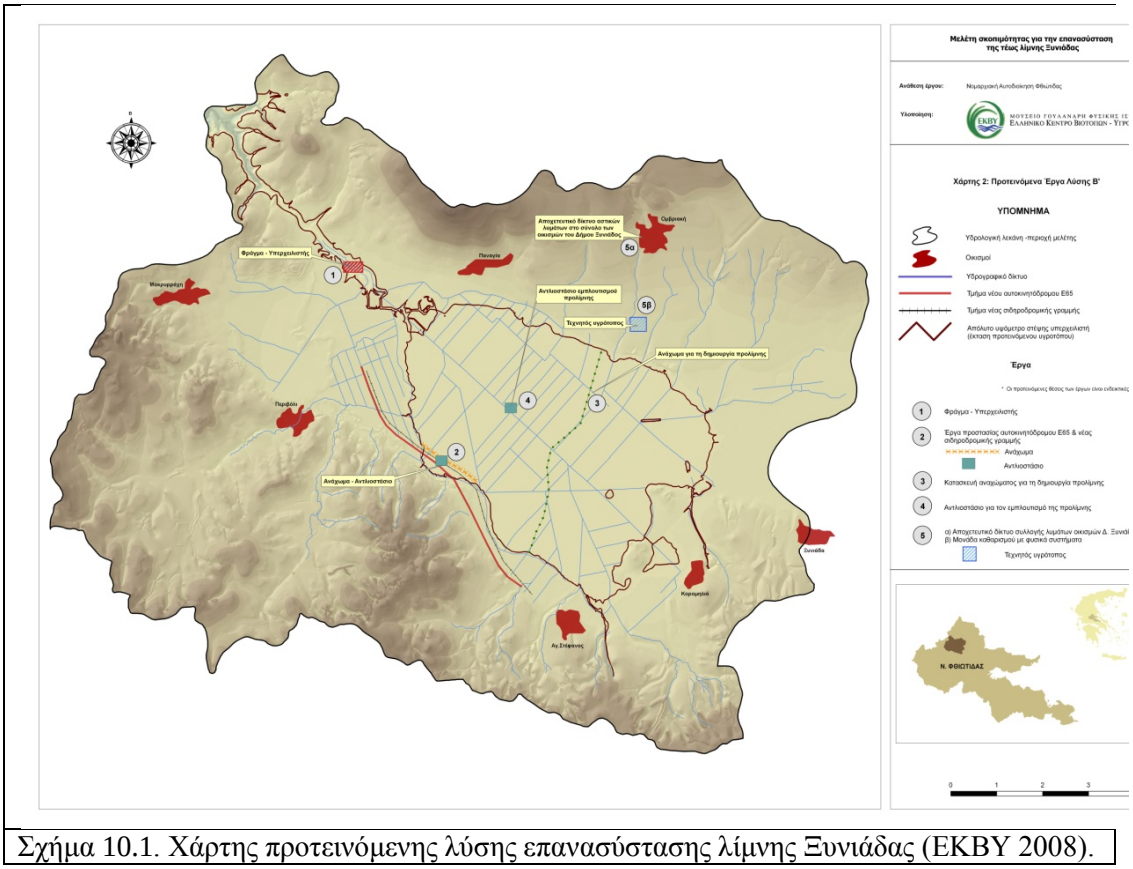
Οι λειτουργίες γενικά των υγροτόπων είναι (*Dahl* 1990, *Scott* 1993, *Botch* 1999, *Mitsch* and *Gosselink* 2000, *Ramsar Convention Bureau* 2000):

- απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα

- υδραυλικοί φραγμοί για το θαλασσινό νερό
- στήριξη τροφικών πλεγμάτων
- εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων
- παγίδευση ιζημάτων και τοξικών ουσιών
- απομάκρυνση και μετασχηματισμός θρεπτικών στοιχείων
- τροποποίηση πλημμυρικών φαινομένων
- ρύθμιση μικροκλίματος

Η μελέτη σκοπιμότητας από το ΕΚΒΥ πρότεινε δύο λύσεις αποκατάστασης. Η πρώτη λύση προκρίνει τον ταυτόχρονο πλημμυρισμό 26.000 στρεμμάτων, αλλά οδηγεί σε μια σχετικά ρηχή λίμνη, ενώ η δεύτερη την κατασκευή αναχώματος για να δημιουργηθεί μια βαθιά λίμνη 11.500 στρεμμάτων που σταδιακά θα επεκταθεί στα 26.000 στρέμματα. Και στις δύο λύσεις διερευνήθηκε η δυνατότητα κάλυψης των αρδευτικών αναγκών 7.000 στρ., τα οποία είναι αυτά που απομένουν μετά τη δημιουργία της λίμνης, ενώ επιπλέον διερευνήθηκε και η περίπτωση που οι αρδευόμενες εκτάσεις θα αυξηθούν στα 14.000 στρ. Σε κάθε περίπτωση, η κάλυψη των αρδευτικών αναγκών θα γίνεται από τα υπόγεια νερά της λεκάνης απορροής (*ΕΚΒΥ* 2008, Σχήμα 10.1).

Με την αναδημιουργία της λίμνης Ξυνιάδας και σύμφωνα με τη μελέτη επανασύστασης της, η περίσσεια των φορτίων που εφαρμόζονται στις γεωργικές εκτάσεις θα επηρεάσει τη ποιότητα του νερού της λίμνης, με αποτέλεσμα την εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων διαλυμένων ουσιών. Οι συγκεντρώσεις αυτές αναμένεται να είναι υψηλές ιδιαίτερα στα πρώτα χρόνια αναδημιουργίας της λίμνης, κατά τα οποία ο όγκος του νερού στη λίμνη θα παρουσιάζει σημαντικές αυξομειώσεις, με αποτέλεσμα να δημιουργείται συμπύκνωση των διαλυμένων ρύπων (*ΕΚΒΥ* 2008).



Σχήμα 10.1. Χάρτης προτεινόμενης λύσης επανασύστασης λίμνης Ξυνιάδας (ΕΚΒΥ 2008).

Οι απόψεις αυτές επιβεβαιώνονται από την περίπτωση της επανασύστασης της λίμνης Κάρλας στη Θεσσαλία. Οι *Oikonomou et al.* (2012) διαπίστωσαν ότι η επανασύσταση της

λίμνης Κάρλας πάνω στον παλιό πυθμένα, πλούσιο σε θρεπτικά και διάφορα άλατα, αύξησε την αγωγιμότητα σε τιμές μέχρι 1.500-3.000 μS/cm (*Ζήσου και Ψιλοβίκος* 2012). Επιπλέον η σχετικά μεγάλη επιφάνεια με μικρό βάθος (δεν ξεπερνάει τα 2,5 μ.), η σχέση όγκου νερού προς επιφάνεια πυθμένα, καθώς και ο μικρός ρυθμός ανανέωσης του νερού λόγω περιορισμένης απορροής της λίμνης συνέβαλαν κατά τους ίδιους στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν. Επιπρόσθετα οι ίδιοι ερευνητές ανίχνευσαν στο νερό της λίμνης ένα κοκτέιλ δυνητικών τοξικών κυανοβακτηρίων και μικροφυκών (*Planktothrix* cf. *agardhii, Prymnesium parvum,* και *Pfiesteria* cf. *Piscicida*) με την ταυτόχρονη παρουσία παρασιτικών ειδών (*Dermocystidium* sp.). Ο συνδυασμός αυτός στα νερά της Κάρλας θεωρήθηκε υπεύθυνος για θανάτους ψαριών στον Παγασητικό, δεδομένου ότι τα νερά της λίμνης διοχετεύονται με υπόγεια σήραγγα στον κόλπο, και δείχνουν ότι η λίμνη κινδυνεύει να πεθάνει πριν ακόμη αναγεννηθεί. Επίσης, άξιο αναφοράς είναι ότι οι πρόσφατα αναδομημένες λίμνες βρίσκονται ακόμα υπό συνεχή αλλαγή και νέα μικροσκοπικά ευκαρυωτικά κύτταρα αποικίζουν το οικοσύστημα. Η παρουσία μικροοργανισμών όπως Cercozoa, Haptophyta, και Alveolata δείχνει ότι τέτοιοι μικροοργανισμοί πιθανά παραμένουν στο έδαφος, όπου ήταν προηγουμένως οι υπό επανασύσταση λίμνες.

Παρόμοιες διαπιστώσεις παρατηρήθηκαν και στην πιλοτική επανασύσταση της αποξηραμένης λίμνης Μουριάς σε έκταση 5 στρεμμάτων στην Ηλεία. Το βρόχινο νερό που κατέκλυσε την εκσκαφή της νέας λίμνης ήρθε σε επαφή με τα αργιλικά ιζήματα που κυριαρχούν στην περιοχή και μέσα σε διάστημα 3 μηνών η ηλεκτρική αγωγιμότητά του έφτασε την τιμή των 6.220 μS/cm (*Καραπάνος* 2009). Επιπλέον, τα επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα της πιλοτικής λίμνης εμφάνισαν μικρή αύξηση των συγκεντρώσεων C, N, S και ολικού οργανικού άνθρακα, σε σχέση με αυτές πριν τον επαναπλημμυρισμό. Τα ιζήματα μετά τον επαναπλημμυρισμό, δεν παρουσίασαν εμπλουτισμό σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία, ενώ αντίθετα οι συγκεντρώσεις τους ήταν σταθερές ή αυξήθηκαν λίγο σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση.

Το γεγονός αποδόθηκε στο υψηλό pH επί των ιζημάτων της περιοχής επαναπλημμυρισμού, πράγμα που με τη σειρά του δρα ανασταλτικά στην κινητικότητα των ιχνοστοιχείων. Όμως, ενδεχόμενη μεταβολή των συνθηκών αυτών θεωρήθηκε ότι θα διαταράξει την ισορροπία του συστήματος της πιλοτικής λίμνης, προκαλώντας ενδεχόμενα αύξηση της κινητικότητας των ιχνοστοιχείων και αποδέσμευσή τους στο περιβάλλον (*Χατζηαποστόλου* 2009).

Σε κάθε περίπτωση και αναφορικά σε σχέση με τα ανωτέρω, αν τελικώς αποφασιστεί η επανασύσταση της λίμνης Ξυνιάδας, προτείνεται η συνεχής και για μεγάλο χρονικό διάστημα παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, του επιφανειακού νερού που θα καταλήγει εκεί, καθώς και της χημικής σύστασης των ιζημάτων αλλά και των μεταβολών τους μέσα στο χρόνο.

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την υδρογεωχημική περιβαλλοντική έρευνα στο οροπέδιο Δομοκού είναι τα εξής:

- Η μέση κλίση του οροπεδίου είναι $10,23^0$ με συντελεστή αναγλύφου 3,39%, εκφράζοντας το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης· βαθμός ενδεικτικός της όχι ιδιαίτερα αυξημένης έντασης των διεργασιών διάβρωσης.
- Ο δείκτης κυκλικότητας είναι 0,35 και ο δείκτης επιμήκυνσης είναι 0,69, δείχνοντας ότι το οροπέδιο σχηματίζει επιμήκη λεκάνη με προσανατολισμένη διεύθυνση ροής, ως αποτέλεσμα πρόσφατης τεκτονικής δράσης.
- Η τιμή του υψομετρικού ολοκληρώματος είναι 24,26%, πράγμα που σημαίνει ότι η λεκάνη βρίσκεται σε μεταβατικό στάδιο (monadnock phase).
- Ο συνολικός αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι 2.842 και το συνολικό μήκος τους φτάνει στα 1.594,2 km, με υδρογραφική πυκνότητα και υδρογραφική συχνότητα 2,63 και 4,68 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές σχετίζονται με το ανάγλυφο και την παρουσία μη περατών σχηματισμών.
- Η γεωλογική διάρθρωση περιλαμβάνει αλλουβιακές προσχώσεις, σχηματισμούς του νεογενούς, φλύσχη, ασβεστόλιθους, σχιστοκερατολιθική διάπλαση και οφιόλιθους. Επικρατέστεροι σχηματισμοί είναι οι τεταρτογενείς αποθέσεις και οι οφιόλιθοι με 26,87% και 25,59% αντίστοιχα.
- Η ετήσια τιμή βροχόπτωσης και η μέση ετήσια θερμοκρασία, όπως αυτές υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της χωρικής ολοκλήρωσης, είναι για τη λεκάνη Ξυνιάδας 594,1 mm βροχής και 14,8°C αντίστοιχα, ενώ για την λεκάνη Σκοπιάς 697,9 mm βροχής και 14,8°C.
- Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή που υπολογίστηκε ανηγμένη στην έκταση κάθε λεκάνης με την μέθοδο *Thornthwaite* ανέρχεται σε 843,7 mm βροχής για τη λεκάνη Ξυνιάδας και 827,5 mm βροχής για τη λεκάνη Σκοπιάς.
- Οι τιμές του δείκτη ξηρασίας Lang εμφανίζουν το κλίμα τους μήνες από Ιούνιο έως και Αύγουστο ως υπέρξηρο και για τις δύο λεκάνες, ενώ η αρδευτική περίοδος του έτους διαρκεί όμοια και για τις δύο λεκάνες από το τελευταίο δεκαήμερο του Απριλίου μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου.
- Από το οροπέδιο απορρέουν συνολικά σε ετήσια βάση 77.223.046,91 m^3 νερού από τα οποία τα 27.543.038,02 m^3 από την λεκάνη Ξυνιάδας και τα 49.680.008,9 m^3 από τη λεκάνη Σκοπιάς.
- Ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου με το αδρομερές εννοιολογικό μοντέλο **«ΖΥΓΟΣ»** έδειξε ότι στη λεκάνη Ξυνιάδας η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 62,7% (390,5 mm) των κατακρημνισμάτων, η απορροή το 22,5% (140,1 mm) και η κατείσδυση το 14,8% (91,9 mm). Το σφάλμα επί της ετήσιας τιμής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με χωρική ολοκλήρωση ανέρχεται σε 4,8% και θεωρείται αποδεκτό.
- Στη λεκάνη Σκοπιάς η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αποτελεί το 64,2% (447,0 mm) των κατακρημνισμάτων, η απορροή το 22,8% (158,7 mm) και η κατείσδυση το 13,0% (90,4 mm). Το σφάλμα επί της ετήσιας τιμής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με χωρική ολοκλήρωση είναι αμελητέο (0,3%).
- Οι Υδρογεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έρευνας ταξινομούνται σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδατοστεγείς σχηματισμούς. Στους υδροπερατούς ταξινομούνται όλοι οι ανθρακικοί σχηματισμοί και οι ανθρακικοί ορίζοντες που αναπτύσσονται εντός των σχιστολίθων. Στους ημιπερατούς όλα τα κοκκώδη πετρώματα, τα διερρηγμένα πετρώματα των οφιόλιθων, οι κερατόλιθοι και τα κροκαλοπαγή της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης και οι ψαμμίτες, οι μαργαϊκοί

ασβεστόλιθοι και τα κροκαλοπαγή των σχηματισμών του φλύσχη και του νεογενούς. Στους υδατοστεγείς σχηματισμούς ανήκουν οι άργιλοι, οι μάργες του νεογενούς, οι αργιλικοί σχιστόλιθοι της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης και οι pillow λάβες του οφιολιθικού συμπλέγματος.

- Οι οφιολιθικές μάζες παρουσιάζουν σχετική υδροφορία μέσω ασυνεχειών, η οποία είναι τοπικά περιορισμένη ή ασυνεχής και οφείλεται στην τεκτονική καταπόνηση τους.
- Στις τεταρτογενείς αποθέσεις σχηματίζονται επάλληλοι υποκείμενοι υδροφόροι ορίζοντες φρεάτιοι ή μερικώς υπό πίεση, ενώ στην περιοχή της πρώην λίμνης αναπτύσσεται φρεάτιος υδροφόρος μικρού βάθους που οδηγεί σε φαινόμενα αρτεσιανισμού.
- Στον προσχωματικό υδροφόρο, η κίνηση των υπογείων υδάτων έχει παρόμοια κατεύθυνση με αυτή των επιφανειακών, Β-ΒΑ στη λεκάνη Σκοπιάς και ΒΔ στη λεκάνη Ξυνιάδας.
- **Τα εδάφη** της περιοχής έρευνας είναι αμμοπηλώδη και πηλοαμμώδη και ευνοούν την κινητοποίηση στοιχείων και ενώσεων προς τα βαθύτερα στρώματα.
- Είναι ελαφρώς αλκαλικά έως μέτρια αλκαλικά, επικρατούν οι οξειδωτικές συνθήκες με μέση τιμή δυναμικού οξειδοαναγωγής 286,7 mV. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κινείται σε χαμηλά επίπεδα με μέση τιμή 501 μS/cm.
- Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους τα εδάφη είναι ανεπαρκώς εφοδιασμένα σε οργανική ουσία, ενώ οι υψηλές τιμές της παρουσιάζονται στην περιοχή της αποξηραμένης λίμνης.
- Το 1/3 των εδαφών χαρακτηρίζονται ασβεστούχα, με τις υψηλότερες τιμές του ισοδύναμου ανθρακικού ασβεστίου να παρουσιάζονται στα εδάφη εκείνα των οποίων η προέλευση είναι ανθρακικοί σχηματισμοί.
- Οι ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων Fe και Mn στην περιοχή έρευνας σχετίζονται με την παρουσία των οξειδίων Fe και Mn, άποψη που επιβεβαιώνεται από το καστανοκόκκινο χρώμα των εδαφών. Οι υψηλές τιμές των Co, Ni και Cr συνδέονται με την έντονη παρουσία των οφιολιθικών πετρωμάτων στην περιοχή έρευνας.
- Οι υδατοδιαλυτές μορφές των μετάλλων χαρακτηρίζονται από μικρή ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών (0,01%), λόγω των υψηλών τιμών pH και $CaCO_3$ της περιοχής έρευνας, που μειώνουν την κινητικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητά τους.
- Από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών των βαρέων μετάλλων, τα Fe και Ni εμπλουτίζουν τα υπόγεια και επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Αντιθέτως, ο Pb και το Co με το δυσκίνητο χαρακτήρα τους εμφανίζονται σε ίχνη στα νερά.
- Η ποσοστιαία συμμετοχή των ανταλλάξιμων μορφών επί των ολικών είναι 0,04% και τα βαρέα μέταλλα που κυριαρχούν είναι τα Fe, Mn, Pb και Co.
- Οι συνδεδεμένες μορφές στα οξείδια Fe και Mn, οργανικές και ανθρακικές ενώσεις εμφανίζουν υψηλές τιμές στα βαρέα ιχνοστοιχεία των Fe, Mn, Ni, Cu και Co. Σχετίζονται δε με την τάση των συγκεκριμένων μετάλλων να συνδέονται με τα οξείδια Fe και Mn και να προσροφώνται στην οργανική ύλη. Η ποσοστιαία συμμετοχή τους επί των ολικών είναι 1,81%.
- Οι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών μορφές παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις στα Fe, Mn, Co, Ni και Cr, αντανακλώντας το περιεχόμενο των μητρικών πετρωμάτων στα μέταλλα αυτά και έχουν την μεγαλύτερη ποσοστιαία συμμετοχή επί των ολικών με 98,14%.
- Η λεκάνη Ξυνιάδας εμφανίζει υψηλότερες τιμές οργανικής ουσίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας εξαιτίας της πρώην λίμνης, Ni και Cr λόγω της παρουσίας των οφιόλιθων. Στη λεκάνη Σκοπιάς οι τιμές των Fe, Mn και Zn εμφανίζονται

υψηλότερες και συνδέονται με την παρουσία των στοιχείων σε εδάφη προερχόμενα από την αποσάθρωση ασβεστολιθικών πετρωμάτων, σε ιζηματογενή πετρώματα, σε σχιστόλιθους και αργιλώδη ιζήματα.

- Η εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης στις ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων προσδιορίζει ότι η προέλευση των Ni και Cr σχετίζεται με τη διάβρωση του πλούσιου σε οφιολιθικά πετρώματα γεωλογικού υποβάθρου. Υποδηλώνει την ταυτόχρονη παρουσία των Fe και Zn στα μητρικά πετρώματα, τη σύνδεση του Cu με τα οξείδια του Mn στα βασικά πετρώματα και την προέλευση του Co από βασικά και υπερβασικά πετρώματα.
- Η εφαρμογή της ανάλυσης σε ομάδες υπέδειξε την ύπαρξη συγγένειας της ομάδας που εκφράζει τη σύνδεση του Cu με τα οξείδια του Mn με αυτή της σύνδεσης του Fe με το Zn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών, καθώς το Mn συνδέεται με το Fe στις γεωχημικές διεργασίες. Οι άλλες δύο ομάδες σχετίζονται με την έντονη παρουσία των Ni και Cr στα υπερβασικά πετρώματα και του Co με το Pb στα αργιλικά ιζήματα των εδαφών με γεωλογικό υπόβαθρο βασικά-υπερβασικά πετρώματα.
- Τα εδάφη της περιοχής έρευνας είναι επιβαρυμένα σε Co, Ni και Cu σε ποσοστό 100%, 29%, 9% αντίστοιχα, καθώς ξεπερνούν το μέγιστο αποδεκτό όριο ρύπανσης εδαφών της «The New Dutchlist».
- Το ποσοστό του ανθρωπογενούς παράγοντα στην ρύπανση των εδαφών σε βαρέα μέταλλα προσδιορίζεται ως <0,01%.
- **Τα υπόγεια νερά** της περιοχής έρευνας διαφοροποιούνται υδροχημικά, ανάλογα με τη λιθολογία και το γεωλογικό σχηματισμό που τα φιλοξενεί:

  α) Νερά τεταρτογενών αποθέσεων και νεογενών σχηματισμών: Τα νερά των χάλαρων αποθέσεων παρουσιάζουν υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα και T.D.S. εξαιτίας της εύκολης διάλυσης των ιζηματογενών πετρωμάτων. Επικρατέστερα κατιόντα είναι τα Ca^{+2} και ακολουθούν τα Mg^{+2} και ανιόντα τα HCO_3^-, SO_4^{2-} και τα NO_3^- εξαιτίας των καλλιεργειών.

  β) Νερά από σχηματισμούς του φλύσχη: Τα νερά αυτά παρουσιάζουν υψηλότερη σκληρότητα και έχουν επικρατέστερα κατιόντα τα Ca^{+2} και Na^+ και ανιόντα τα HCO_3^- και NO_3^- λόγω της χρήσης λιπασμάτων.

  γ) Νερά από ανθρακικούς σχηματισμούς: Τα νερά που προέρχονται από τους ασβεστόλιθους χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη σκληρότητα και ηλεκτρική αγωγιμότητα και παρουσιάζουν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά από τα νερά των υπόλοιπων σχηματισμών.

  δ) Νερά από οφιόλιθους: Τα νερά αυτών των σχηματισμών έχουν επικρατέστερα κατιόντα τα Mg^{+2} και ακολουθούν τα Ca^{+2} και ανιόντα τα HCO_3^-, NO_3^- και τα SO_4^{2-}.
- Διαφοροποίηση των υπογείων νερών παρουσιάζεται και μεταξύ των λεκανών της αποξηραμένης λίμνης Ξυνιάδας και της λεκάνης Σκοπιάς:

  α) Λεκάνη Ξυνιάδας: Επικρατούντα κατιόντα είναι τα Ca^{2+}, Na^+ και Mg^{2+} και ανιόντα τα HCO_3^- και SO_4^{2-}, η παρουσία των οποίων είναι κυρίως γεωγενής. Σχετίζεται με το πρώην λιμναίο περιβάλλον και την τροφοδότηση των υπόγειων υδροφορέων από ανθρακικούς και οφιολιθικούς σχηματισμούς. Στην περιοχή της αποξηραμένης λίμνης παρατηρούνται θερμοκρασίες (>21,0^{o}C), υποδηλώνοντας την κυκλοφορία θερμών νερών και χαμηλές τιμές οξυγόνου εξαιτίας της αποδόμησης οργανικού υλικού.

  β) Λεκάνη Σκοπιάς: Επικρατούντα κατιόντα τα Ca^{2+} και Mg^{2+} και ανιόντα τα HCO_3^- και NO_3^-. Η παρουσία των τριών πρώτων στοιχείων σχετίζεται με την εμφάνιση των ανθρακικών και οφιολιθικών σχηματισμών και των τεταρτογενών αποθέσεων που αποτελούνται σε σημαντικό ποσοστό από κλαστικό υλικό ασβεστολιθικής και οφιολιθικής προέλευσης, ενώ η παρουσία των NO_3^- σχετίζεται με την εφαρμογή

λιπασμάτων. Οι θερμοκρασίες των νερών κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα λόγω τροφοδοσίας τους μέσο πλευρικών διηθήσεων από νερά των καρστικών μαζών της Όθρυος.

- Οι περισσότερες υδροχημικές παράμετροι παρουσιάζονται αυξημένες κατά την ξηρή περίοδο, καθώς η κυκλοφορία του νερού στις υδρογεωτρήσεις προκαλεί την ανάμιξη νερών από πιο μεγάλα βάθη:
  α) Φυσικοχημικές παράμετροι: Η μέσες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των TDS αυξάνονται από 660,4 μS/cm σε 797,1 μS/cm και από 660,6 mg/l σε 702,5 mg/l αντίστοιχα, του δυναμικού οξειδοαναγωγής μειώνονται από 255 mV σε 178,6 mV, ενώ των υπολοίπων φυσικοχημικών παραμέτρων αυξάνονται ελάχιστα ή παραμένουν σχεδόν σταθερές.
  β) Κύρια και δευτερεύοντα στοιχεία: Τα HCO_3^- αυξάνονται από 382 mg/l σε 424,4 mg/l, τα SO_4^{2-} μειώνονται από 58,4 mg/l σε 49,6 mg/l, ενώ τα NH_4^+ διπλασιάζονται από 0,2 mg/l σε 0,4 mg/l. Οι τιμές των υπολοίπων στοιχείων αυξάνονται ελάχιστα ή παραμένουν σε παρόμοιες συγκεντρώσεις.
- Οι τιμές των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, και Cr παρουσίασαν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά και σχετίζονται κυρίως με την παρουσία οξειδίων Fe, υπερβασικών πετρωμάτων και τη χρήση λιπασμάτων στην περιοχή έρευνας. Η μορφή που επικρατεί στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας είναι το υδροξυ-σύμπλοκο $Cr(OH)_3$ aq του Cr^{3+}.
- Με βάση την κατά **Piper** υδροχημική ταξινόμηση, ποσοστό 82% του συνόλου των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κατατάσσονται στα φυσικά γαιοαλκαλικά νερά με επικρατέστερο το γενικό υδροχημικό τύπο (Ca,Mg)-HCO_3, υποδεικνύοντας το γρήγορο εμπλουτισμό και την ανανέωση τους. Ποσοστό 16% είναι γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, με γενικό υδροχημικό τύπο (Ca,Mg)-Na-HCO_3, και ποσοστό 2% κατατάσονται στην κατηγορία των αλκαλικών νερών με υδροχημικό τύπο Na-(Mg,Ca)-HCO_3. Τα νερά των κατηγοριών αυτών εντοπίζονται κύρια στο δυτικό κεντρικό τμήμα του οροπεδίου και έχουν σχέση με τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο πρώην λιμναίο περιβάλλον της περιοχής.
- Με βάση την κατά **Durov** υδροχημική ταξινόμηση παρατηρείται η επικράτηση των νερών μίξης με ακαθόριστο υδροχημικό τύπο με ποσοστό 42%. Ποσοστό 38% είναι νερά στα οποία βρίσκεται σε εξέλιξη το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής. Η υδροχημική τους εξέλιξη καθορίζεται από τις φάσεις Ca-HCO_3, Mg-HCO_3 και Na-HCO_3. Τα υπόλοιπα νερά με ποσοστό 20% είναι αντίστροφης κατιοανταλλαγής και η υδροχημική εξέλιξη τους καθορίζεται από τις φάσεις Ca-Cl και Mg-Cl.
- Οι τιμές του λόγου Mg:Ca δείχνουν ότι τα υπόγεια νερά προέρχονται κύρια από υδροφορείς ασβεστολιθικών και οφιολιθικών πετρωμάτων, ενώ οι τιμές του λόγου (Ca+Mg:Na+K) υποδεικνύουν τη συνεχή τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων της περιοχής έρευνας.
- Η υδρογεωχημική προσομοίωση των υπόγειων νερών έδειξε, ότι στα υπόγεια νερά περιέχονται στοιχεία από την διάλυση αλίτη (NaCl), ασβεστίτη ($CaCO_3$), δολομίτη $CaMg(CO_3)_2$ και ανυδρίτη ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).
- Τα νερά είναι ακόρεστα σε γύψο και ανυδρίτη ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), σε φθορίτη (CaF_2), σε σιδερίτη ($FeCO_3$) και σε μαγνησίτη ($MgCO_3$). Αντίθετα είναι κορεσμένα σε ασβεστίτη ($CaCO_3$), σε αραγωνίτη ($CaCO_3$) και σε δολομίτη ($CaMg(CO_3)_2$).
- Η εφαρμογή της **παραγοντικής ανάλυσης**:
  α) Εμφανίζει στα νερά των πηγών ρυπογενές φορτίο, που σχετίζεται με αστικά λύματα και τη χρήση λιπασμάτων και επιπλέον περιγράφει την επαφή του νερού με τους οφιολιθικούς σχηματισμούς.

β) Στα νερά των γεωτρήσεων υγρής περιόδου περιγράφει ρύπανση των υπόγειων νερών από τη χρήση λιπασμάτων των τύπων $NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$ και $(Ca(H_2PO_4)_2)$ και επιπλέον την ύπαρξη NH_4^+ από την εφαρμογή λιπασμάτων του τύπου (NH_4NO_3) σε νερά πλούσια σε Mg^{2+} από τη διάβρωση των οφιόλιθων. Αποκαλύπτει την ύπαρξη εβαποριτικής κρούστας που τροφοδοτεί τα υπόγεια νερά της περιοχής της πρώην λίμνης με Na και Mn, τη μετατροπή φθοροαπατίτη σε υδροξυαπατίτη στα ηφαιστειογενή πετρώματα με απελευθέρωση φθορίου.

γ) Στα νερά των γεωτρήσεων ξηρής περιόδου περιγράφει τη δημιουργία τοπικά αναγωγικών συνθηκών, λόγω οξείδωσης των οργανικών της πρώην λίμνης, που οδηγεί σε απονιτροποίηση με τελικό προϊόν NH_4^+ και στην αναγωγή οξειδίων Fe, με την ταυτόχρονη παρουσία στα νερά HCO_3^- και Na λόγω της ύπαρξης εβαποριτικών στρωμάτων. Επιπλέον, υποδηλώνει τη χρήση λιπασμάτων των τύπων $NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$ και KNO_3 και αποκαλύπτει την παρουσία Ni και F εξαιτίας της εξαλοίωσης υπερβασικών και ηφαιστειογενών πετρωμάτων αντίστοιχα.

- Η εφαρμογή της **ανάλυσης κατά ομάδες:**

α) Ομαδοποιεί τα νερά των πηγών λόγω του ρυπαντικού τους φορτίου και της κοινής τροφοδοσίας τους από οφιολιθικούς και ανθρακικούς σχηματισμούς, καθώς και από σχηματισμούς του φλύσχη στο βορειανατολικό τμήμα του οροπεδίου.

β) Στα νερά των γεωτρήσεων υγρής περιόδου εμφανίζει την ύπαρξη συγγένειας μεταξύ των ομάδων των γεωτρήσεων, των οποίων οι υδροφόροι τροφοδοτούνται από τα παρακείμενα υπερβασικά πετρώματα, και αυτών των οποίων οι υδροφόροι εμπλουτίζονται από ασβεστόλιθους και άλλους ανθρακικούς σχηματισμούς. Επιπροσθέτως, παρατηρείται η ύπαρξη συγγένειας μεταξύ των γεωτρήσεων που έχουν κοινό σημείο στα νερά τους την ύπαρξη υψηλού ρυπαντικού φορτίου και αυτών που βρίσκονται στην κεντρική περιοχή της πρώην λίμνης.

γ) Στα νερά των γεωτρήσεων ξηρής περιόδου περιγράφει τη συγγενική υδροχημική σχέση των ομάδων λόγω διέλευσης των υδροφόρων τους από σχηματισμούς υπερβασικών πετρωμάτων και εξαιτίας ρυπαντικού φορτίου από τις καλλιεργητικές πρακτικές.

- Η σύγκριση με τα **σταθερότυπα πόσιμου νερού** (Οδηγία 98/83/ΕΚ, ΦΕΚ 892/Β/11) έδειξε συγκεντρώσεις Ca^{2+}, NO_3^- και Br^- σε ποσοστά 40% , 24% και 81% αντίστοιχα πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. Οι τιμές των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Zn, Cd, Ni, και Cr παρουσιάζουν επίσης υπέρβαση των σταθερότυπων πόσιμου νερού σε ποσοστά 24%, 9%, 10%, 29%, 95% και 34% αντίστοιχα, χαρακτηρίζοντας τα ακατάλληλα για ύδρευση.
- Με βάση την κατά **Richards** ταξινόμηση, τα υπόγεια νερά σε ποσοστό 1,1% ανήκουν στην κατηγορία C1.S1, 67,4% ανήκουν στην κατηγορία C2.S1 και 31,5% στην κατηγορία C3.S1., παρουσιάζοντας στο σύνολο τους μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο έως υψηλό κίνδυνο αλατότητας, καθιστώντας τα κατάλληλα για άρδευση.
- **Τα επιφανειακά νερά** της περιοχής έρευνας, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα των υπόγειων νερών, παρουσιάζουν παρόμοιο υδροχημισμό και επικρατέστερα κατιόντα τα Ca^{+2} και Mg^{+2} και ανιόντα τα HCO_3^-, SO_4^{2-} και τα NO_3^-. Σχετίζονται με τη διάλυση των υποστρώματων των ποταμών και τη λιθολογία της περιοχής που αυτά διασχίζουν. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται κατά την υγρή περίοδο και συνδέονται με την έκπλυση αγροχημικών από τις βροχοπτώσεις, ενώ κατά την ξηρή περίοδο οι τιμές περιορίζονται σημαντικά.
- Μεταξύ των λεκανών Ξυνιάδας και Σκοπιάς παρουσιάζονται διαφορές στο χημισμό των επιφανειακών νερών. Στην τάφρο από τα κατιόντα υπερισχύει το Mg, που συνδέεται με την ανάπτυξη των οφιολίθων στην περιοχή, ενώ στον Ενιππέα υπερισχύει το Ca που συνδέεται με την παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων της

περιοχής. Από τα ανιόντα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των HCO_3^- εμφανίζονται στην τάφρο Ξυνιάδας όπως επίσης και των SO_4^{2-} που σχετίζονται με την έντονη παρουσία της οργανικής ύλης στις αλλουβιακές αποθέσεις. Οι υψηλότερες τιμές των NO_3^- παρατηρούνται στη λεκάνη Σκοπιάς, που αποδίδονται στις ανθρωπογενείς επιδράσεις λόγω των αγροκαλλιεργειών, ενώ των NH_4^+ στη λεκάνη Ξυνιάδας και οφείλονται σε χρήση αμμωνιακών λιπασμάτων και ρυπογόνων φορτίων από κτηνοτροφικές μονάδες.

- Διαφορές παρατηρούνται επίσης και μεταξύ των δύο σημείων υδροληψίας στον Ενιππέα, με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των TDS, SO_4^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-} και NH_4^+ να είναι υψηλότερες στη Μαντασιά (σημείο Ε2) οι οποίες σχετίζονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθώς ο Ενιππέας διέρχεται από αγροτικές εκτάσεις. Σε αντίθεση το Σχισμαδόρεμα διασχίζει δασικές εκτάσεις της Όθρυος δεν μεταφέρει ρυπαντικό φορτίο και αραιώνει τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων ουσιών στη Σκοπιά (σημείο Ε3) σε μεγαλύτερο όγκο νερού.
- Τα επιφανειακά νερά χαρακτηρίζονται σκληρά και για τις δύο λεκάνες, καθώς τα τεταρτογενή ασβεστολιθικής και οφιολιθικής προέλευσης ιζήματα που διασχίζουν τα ποτάμια συμβάλλουν με την διάλυσή τους στην αυξημένη ολική σκληρότητα των επιφανειακών νερών του οροπεδίου.
- Η έντονη παρουσία των βαρέων μετάλλων Fe, Ni, Cr συνδέονται με την ύπαρξη οξειδίων Fe και υπερβασικών πετρωμάτων, καθώς και των προϊόντων αποσάθρωσής τους στα ιζήματα των ποταμών.
- Με βάση το διάγραμμα **Piper**, τα νερά της τάφρου Ξυνιάδας και του Ενιππέα κατατάσσονται στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών και στην ομάδα των οξυανθρακικών. Τα νερά της τάφρου έχουν υδροχημικό τύπο Mg-HCO_3, ο οποίος συνδέεται με την ανάπτυξη των οφιόλιθων, ενώ τα νερά του Ενιππέα είναι του υδροχημικού τύπου Ca-HCO_3, που σχετίζεται με την ύπαρξη ανθρακικών πετρωμάτων και σχηματισμών του φλύσχη.
- Με βάση το διάγραμμα **Durov**, στα νερά της τάφρου σε ποσοστό 66% βρίσκεται σε εξέλιξη το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής, με την υδροχημική εξέλιξη να καθορίζεται από τις ακόλουθες φάσεις: Ca-HCO_3, Mg-HCO_3, Na-HCO_3. Τα νερά του Ενιππέα σε ποσοστό 66% είναι νερά μίξης ή νερά διαλυτοποίησης με ακαθόριστο υδροχημικό τύπο.
- Η εφαρμογή της **παραγοντικής ανάλυσης:**
  α) Συνδέει τα νερά της τάφρου με γεωγενείς επιδράσεις (παρουσία των F και Na στα ηφαιστειογενή πετρώματα, των SO_4^{2-} στην οργανική ύλη της πρώην λίμνης και του Ni από την αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων), με τη χρήση λιπασμάτων και με λύματα κτηνοτροφικών μονάδων.
  β) Συσχετίζει τα νερά του Ενιππέα με τη διάβρωση οφιολιθικών, ανθρακικών σχηματισμών και οξειδίων Fe των υποστρωμάτων του και με τη λιθολογία από την οποία διέρχεται, καθώς υπάρχει υλικό με οφιολιθική προέλευση και με τη χρήση λιπασμάτων.
- Ο Ενιππέας και η τάφρος μεταφέρουν σε ετήσια βάση, με τελική κατάληξη μέσω του Πηνειού το Θερμαϊκό κόλπο, ένα μεγάλο όγκο φορτίου θρεπτικών, αντανακλώντας γεωγενείς διεργασίες και ανθρωπογενείς πιέσεις μέσω των καλλιεργητικών μεθόδων. Από τον Ενιππέα μεταφέρονται 1.069,33 τόνοι NO_3^- που σχετίζονται με την υπερβολική χρήση λιπασμάτων και από την τάφρο 2.416,12 τόνων SO_4^{2-} εξαιτίας του οργανικού φορτίου της πρώην λίμνης. Επιπλέον, λόγω της λιθολογίας της περιοχής έρευνας, μεταφέρονται ετήσια από τον Ενιππέα προς τον Πηνειό 6,57 τόνοι Fe και 3,09 τόνοι Ni και μέσα από την τάφρο μετακινούνται σε ετήσια βάση προς τη λίμνη Σμοκόβου 3,56 τόνοι Fe και 2,88 τόνοι Ni.

- Οι συγκεντρώσεις των Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ και Br^-, όπως και των βαρέων μετάλλων Fe, Ni και Cr, παρουσιάζουν τιμές πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Η επικρατούσα μορφή του Cr στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας είναι το υδροξυ-σύμπλοκο $Cr(OH)_3$ aq του Cr^{3+}.
- Με βάση την κατά **Richards** ταξινόμηση, ποσοστό 41,7% των νερών της τάφρου εμφανίζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας (κατηγορία C2.S1) και ποσοστό 58,3 % παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και υψηλό κίνδυνο αλατότητας (κατηγορία C3.S1). Στο σύνολο τους, τα νερά του Ενιππέα παρουσιάζουν μικρό κίνδυνο αλκαλίωσης και μέσο κίνδυνο αλατότητας, καθιστώντας τα καταλληλότερα για άρδευση σε σύγκριση με εκείνα της τάφρου (κατηγορία C2.S1).

Εν κατακλείδι, η παρούσα διατριβή αποτελεί την πρώτη εμπεριστατωμένη υδρογεωχημική περιβαλλοντική έρευνα στο οροπέδιο Δομοκού, στην κεντρική Ελλάδα. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων, των υποθέσεων και των συμπερασμάτων που προέκυψαν κλείνει με την αίσθηση, ότι τώρα αναδεικνύονται πρακτικά ζητήματα αναφορικά με την ορθολογική διαχείριση της περιοχής αυτής, αλλά και νέα επιστημονικά ερωτήματα και προβληματισμοί που ίσως αποτελέσουν αφορμή για μελλοντικές έρευνες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abbas H., Seyed A., 2011. Determination of Cd, Zn, K, pH, TNV, Organic Material and Electrical Conductivity (EC) Distribution in Agricultural Soils using Geostatistics and GIS (Case Study: South & Western of Natanz& Iran). World Academy of Science, Engineering and Technology 60:22-25.

Admiraal W., Jacobs DMLHA., Breugem P., de Reuter van Stevenick E.D., 1992. Effects of phytoplankton on the elemental composition (C, N, P) of suspended particulate material in the lower River Rhine. Hydrobiologia 235–236:479–89.

Adriano DC., 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer-Verlag, New York, pp.533.

Adriano DC., 2001. Trace elements in the terrestrial environment. Biochemistry, Bioavailability, and risks of metals. Springer-Verlag, New York, 867pp.

Ainsworth CC., Pilon JL., Gassman PL., van der Sluys WG., 1994. Cobalt, cadmium, and lead sorption to hydrous iron oxide: Residence time effect. Soil Sci Soc Am J 58:1615-1623.

Akoumianaki I., Nicolaidou A., 2007. Spatial variability and dynamics of macrobenthos in a Mediterranean delta front area: The role of physical processes. Journal of Sea Research, 57: 47–64.

Allison LE., Moodie CD., 1965. Carbonate .In: Black, C.A., editot-in-chief. Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Madison, WI: American Society of Agronomy, Inc:1379-1396.

Alloway BJ., 1995. Heavy metals in soil, 2nd edn. Blackie Academic Professional, An imprint of Chapman and Hall, London pp.368.

Ambraseys, N.N, Jackson, J.A., 1990. Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988, International Journal of Geophysics, 126 (3), pp.663–708.

American Public Health Association, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Method 3030, 20th Edition.

Andews SS., Karlen DL., Mitchell JP., 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agric. Ecosyst. Environ. 90:25–45.

Angelopoulos K., Spiliopoulos IC., Mandoulaki A., Theodorakopoulou A., Kouvelas A., 2009. Groundwater nitrate pollution in northern part of Achaia Prefecture. Desalination 248:852–858.

Antibachi D., Kelepertzis E., Kelepertsis A., 2012. Heavy metals in agricultural soils of the Mouriki–Thiva area (central Greece) and environmental impact implications. Soil and Sediment Contamination: An International Journal 21:434–450.

Antonakos AK., Lamprakis NJ, 2007. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the drastic model, an example from NE Korinthia, Greece. J of Hydrol 333:288– 304.

Apollov BA., 1963. A study of rivers, Izdat. Moscow University, Moscow.

Appelo CAJ., Postma D., 1996. Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands pp.536.

Appelo CAJ., Postma D., 2005. Geochemistry, groundwater and pollution 2nd Edition. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands pp.649.

Appleton JD., Cave MR., Wragg J., 2012. Anthropogenic and geogenic impacts on arsenic bioaccessibility in UK topsoils. Sci Total Environ 435-436:21–29.

Atsarou A., Economou-Eliopoulos M., 2012. Contamination by Cr(vi) and other heavy metals in groundwater, soil and crops at Avlona (Greece). Proceedings of the

International Conference: “Protection and Restoration of the Environment XI”, Aristotle University of Thessaloniki, 3– 6 July 2012. Thessaloniki.

Aubouin J., 1959. Contribution à l‟étude géologique de la Grèce septentrionale : les confins de Épire et de la Thessalie. Ann Géol Pays Hellén vol 10:1-483.

Bai Y., Wang Y., 2011. Spatial Variability of Soil Chemical Properties in a Jujube Slope on the Loess Plateau of China. Soil Science Vol 176(10):550-558.

Balopoulos ETh., Friligos NCh., 1993. Water circulation and eutrophication in the northwestern Aegean Sea: Thermaikos Gulf. Journal of Environmental Science and Health A28 (6):1311–1329.

Banton O., Seguin MK., Cimon MA., 1997. Mapping field-scale physical properties of soil with electrical resistivity. Soil Sci Soc of Am J 161:1010-1017.

Barber L., Thurman EM., Schroeder M., LeBlanc D., 1988. Long-Term fate of organic micropollutants in sewage-contaminated groundwater. Environ Sci Technol 22(2):205–211.

Bartlett RJ., 1986. Soil Redox Behavior. In S. D.J., Soil physical Chemistry Boca Raton, FL: CRS Press, pp.179.

Bartlett RJ., 1999. Characterizing soil redox behavior In: sparks DL (eds) Soil physical chemistry, 2nd ed., CRC Press, Boca raton, FL pp.197-371.

Bartlett RJ., Kimble JM., 1976. Behavior of Chromium in Soils: I. Trivalent forms. II. Hexavalent Forms. J Environ Qual 5:379-383.

Basnyat P., Teeter L., Graeme Lockaby B., Flynn K. M., 2000. Land use Characteristics and Water Quality: A Methodology for valuing of Forested Buffers, Environmental Management, vol 26(2):153- 161.

Bellos D., Sawidis T., 2005. Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia, Greece). Journal of Environmental Management 76:282–292.

Bellos D., Sawidis T., Tsekos, I., 2004. Nutrient chemistry of River Pinios (Thessalia, Greece). Environ Internat 30:105–115.

Benton J., 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press pp.363.

Berbenni P., Galassi G., 1978. Chemica ed ecologica delle acque. Elas libri, Milano 43–46: 180–184.

Bernasconi, S. M., J. A., McKenzie, 2007. Carbonate stable isotopes/Lake Sediments. Encyclopedia of Quaternary Science: 351–359.

Bingham FT., Page AL., Mitchell GA., Strong JE., 1979. Effects of Liming an Acid Soil Amended with Sewage. Sludge Enriched with Cd, Cu, Ni, and Zn on Yield and Cd Content of Wheat Grain. Journal of Environmental Cluallty, Vol 8(2):202-207.

Birks D., Birts A., 1998. Cash management market segmentation. In D. Birks (Ed.). Global cash management in Europe, Basingstoke: Macmillan pp.83–109.

Bloomfield C., Pruden G., 1980. The behavior of Cr (VI) in soil under aerobic and anaerobic conditions. Environ Pollut 23a:103-110.

Bodek I., Lyman W., Reehl WF., Rosenblatt DH., 1988. Eds. Environmental Inorganic Chemistry. Pergamon Press, New York.

Bogardi I., Bardossy I., Duckstein L., 1985. Multi–criterion network design using Geostatistics. Water Resour Res 21(2):199–208.

Bohn H., McNeal B., O' Connor G., 2001. Soil Chemistry 3rd Edition. John Wiley & Sons pp.320.

Botch, M.C., 1999. Wetlands in Russia, Volume 2: Important peatlands, Wetlands.

Bottema, S., 1979. Pollen analytical investigations in Thessaly (Greece). Palaeohistoria 21, 20–40.

Bouyoukos GH., 1951. Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agricultural Journal 43: 434-438.

Bowen HJM., 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, London.

Brady NC., Weil R., 2001. The Nature and Properties of soils**.** Prentice Hall, 13th Edition**,** N.J pp.960.

Brejda JI., Karlen DL., Smith JL., Allan DL., 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators. II. Northern Mississippi loess hills and palouse prairie. Soil Sci Soc Am J 64:2125–2135.

British Geological Survey, 2000. Water Quality Fact Sheet: Iodine.

Brookins DG., 1988. Eh-pH Diagrams for Geochemistry. Springer- Xerlag, New York.

Brooks RR., 1987. Serpentine and its vegetation. Croom Helm London.

Burrough P. A., 1996. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press, Oxford pp.194.

Calmbach L., 1995. Hydrowin Software Version 3. Institute de mineralogy, Lausanne, Switzerland.

Calmbach L., 1997. AquaChem, version 3.7. Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting. Waterloo Hydrogeologic, Ontario, Canada.

Caputo R., Pavlides S., 1993. Late Cenozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central northern Greece), Tectonophysics 223:339–362.

Carpenter SR., Caraco NF., Correll DL., Howarth RW., Sharpley AN., Smith VH., 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Ecol Appl 8:559–568.

Cattell RB., 1978. The scientific use of factor analysis in behavioral and life sciences. New York, Plenum Press 76:97–124.

Celet P., Clement B., Ferriere J., 1976. La zone beotienne en Grece: Implications paleogeographiques et structurales. Eclogae Geological Helvetial 69:577–599.

Chabukdhara M., Nema A., 2013. Heavy metals assessment in urban soil around industrial clusters in Ghaziabad, India: Probabilistic health risk approach. Ecotoxicology and Environmental Safety 87:57-64.

Champidi P., Stamatis G., Zagana E., 2011. Groundwater quality assessment and geogenic and anthropogenic effect estimation in Erasinos basin (E. Attica). EWRA, European Water 33:11-27.

Charizopoulos N., Stamatis G., Psilovikos A., 2011. Water Balance and temporal changes of the surface water quality in Xynias basin (SW Thessaly). Advances in the Research of Aquatic Environment, Springer vol 1:275-281.

Charizopoulos N., Zagana E., Stamatis G., 2013a. Groundwater quality assessment in Xynias drained lake basin (Central Greece). Arabian Journal of Geosciences (under review).

Charizopoulos N., Zagana E., Stamatis G., 2013b. Evaluation of Groundwater Quality in the Scopia Basin (Central Greece) with the use of Multivariate Statistical Analysis and GIS. Arabian Journal of Geosciences (under review).

Charizopoulos E., Papadopoulou-Mourkidou E., 1999. Occurrence of pesticides in rain of the Axios river basin, Greece. Environ. Sci Technol 33:2363-2368.

Chen K., Jiao J., Huang J., Huang R., 2007. Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. Environmental Pollution 147:771-780.

Chen T.B., Wong W.J.C., Zhou H.Y., Wong M.H., 1997. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong. Environmental Pollution 96: 61–68.

Chen-Wuing Liu, Kao-Hung Lin, Yi-Ming Kuo, 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. The Science of the Total Environment 313:77–89.

Chorley R.J., Schumm S.A., Sugden D.E., 1984. Geomorphology. London, p. 605.

Chrysikou L., Gemenetzis P., Kouras A., Manoli E., Terzi E., Samara C., 2008. Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large scale landfill fire in northern Greece. Vol 34(2) :210-225.

Clayton PM., Tiller KG., 1979. A chemical method for determination of the heavy metal content of soils in Environmental Studies, Div. Soils Tech. CSIRO Australia, Melbourne 41:1-17.

Coolican H., 2009. Research Methods and Statistics in Psychology. London: Hodder.

Dahl T.E., 1990. Wetlands losses in the United States 1780's to 1980's. US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington D.C. pp.13. Internet link: http://www.npwrc.usgs.gov/resource/wetlands/wetloss/.

Darren G., Mallery P., 2003. SPSS for Windows step by step- A simple Guide and reference 11.0 update. Pearson Education Inc, USA, pp.386.

Davis S., DeWiest R., 1966. Hydrogeology. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp.463.

De Miguel E., Llamas JF., Chacon E., Berg T., Larssen S., Royset O., Vadset M., 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. Atmospheric Environment 31:2733-2740.

Degryse F., Smolders E., Parker DR., 2009. Partitioning of metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) in soils: concepts, methodologies, prediction and applications–a review. European Journal of Soil Science 60:590-612.

Del Campillo MC., Torrent J., Loeppert RH., 1992. The reactivity of carbonates in selected soils of southern Spain. Geoderma 52:149-160.

Del Rio-Salas R., Ruiz J., De la O-Villanueva M., Valencia-Moreno M., Moreno-Rodríguez V., Gómez-Alvarez A., Grijalva T., Mendivil H., Paz-Moreno F., Meza-Figueroa D., 2012. Tracing geogenic and anthropogenic sources in urban dusts: Insights from lead isotopes. Atmospheric Environment 60:202-210.

Demek J., 1972. Manual of detailed geomorphological mapping. International Geographic Union.

Devkota B., Schmidt GH., 2000. Short communication Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment 78:85–91.

Digerfeldt G., Olsson S., Sandgren P., 2000. Reconstruction of lake-level changes in lake Xinias, central Greece, during the last 40.000 years. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 158:65–82.

Digerfeldt, G., Sandgren, P., Olsson, S., 2007. Reconstruction of Holocene lake-level changes at Lake Xinias, central Greece. The Holocene 17:361-367.

Dikau R., 1989. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. Taylor and Francis, pp.51-77.

Dotsika, E., Poutoukis, D., Tzavidopoulos, I., Maniatis, Y., Ignatiadou, D., Raco, B., 2009. A natron source at Pikrolimni Lake in Greece? Geochemical evidence, Journal of Geochemical Exploration 103:133–143.

Drake J., Bradford A., Joy D., 2010. Application of HEC-RAS 4.0 temperature model to estimate groundwater contributions to Swan Creek, Ontario, Canada, Journal of Hydrology 389:390–398.

Duchaufour Ph., 1970. *Précis de Pédologie*. Masson, Paris, pp.481.

Duker AA., Carranza EJM., Hale M., 2005. Arsenic geochemistry and health. Environment International 31:631– 641.

Durov SA., 1948. Natural waters and graphic representation of their composition. Dokl. Akad. Nauk SSSR, vol 59:87–90.

E.U. Council, 1998. Council directive 98/33 about water quality intended for human composition. Official paper of the European Communities VL 330:32-54.

Efstratiadis A., Koutsoyiannis D., 2002. An evolutionary annealing-simplex algorithm for global optimisation of water resource systems, Proceedings of the Fifth International Conference on Hydroinformatics, Cardiff, UK, 1423-1428, International Water Association.

Eiswirth M., Hotzl H., Burn LS., 2000. Development scenarios for sustainable urban water systems. In: Sililo, et al. (Eds.), Groundwater: Past Achievements and Future Challenges. Balkema Rotterdam:917–922

Ellis KV., Cotton AP., Khowaja MA., 1993. Iodine disinfection of poor quality waters. Water Research 27(3):369-375.

Emmerich WE., Lund LJ., Page AL., Chang AC., 1981. Solid Phase Forms of Heavy Metals in Sewage Sludge-Treated Soils. Journal of Environmental Quality 11(2):178-181.

Engesgaard P., Kipp KL., 1992. A geochemical transport model for redox-controlled movement of mineral fronts in groundwater flow systems: A case of nitrate removal by oxidation of pyrite. Water Resour Res 28:2829–2843.

ESRI, 2008. ArcGIS User's Manual.

Fageria NK., Barbosa MP., 2008. Influence of pH on productivity, nutrient use efficiency by dry bean, and soil phosphorus availability in a non-tillage system. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39:1016-1025.

Fenelon JM., Moore RC., 1998. Transport of agrichemicals to ground and surface water in a Small Indiana watershed. J Environ Qual 27:884–894.

Fernández-Calviño D., Pérez-Novo C., Nóvoa-Muñoz JC., Arias-Estévez M., 2009. Copper fractionation and release from soils devoted to different crops. Journal of Hazardous Materials 167:797-802.

Fernández-Turiel JL., Aceñolaza P., Medina ME., Llorens JF., Sardi F., 2001. Assessment of a smelter impact area using surface soils and plants. Environmental Geochemistry and Health 23:65-78.

Ferriere J., 1982. Paleogeographies et tectonigues superposees dans les Hellenides internes: les massifs de I'Othrys et du Pelion (Grece continentale). These, Univ. des Sciences et Techniques de Lille, S.G.N. (8):vol I.

Frank R., Braun HE., Van Hove Holdrinet M., Sirons GJ., Ripley BD., 1982. Agriculture and water quality in the Canadian Great Lakes Basin. V. Pesticide use in 11 agricultural watersheds and presence in stream water, 1975–1977. J Environ Qual 11 (3):497–505.

Friligos N., Kondylakis JC., Psyllidou-Giouranovits R., Georgakopoulou-Gregoriadou E., 1997. Eutrophication and phytoplankton abundance in the Thermaikos Gulf. Fresenius Environmental Bulletin 6:27–31.

Frogley, M.R., 1998. The biostratigraphy, palaeoecology and geochemistry of a long lacustrine sequence from north-west Greece. Quaternary Newsletter 84:45–46.

Fuge R., Long A.M., 1989. Iodine in the soils of north Derbyshire. Environ. Geochem. Health 11:25–29.

Fytikas M., Kolios N., 1979. Preliminary Heat Flow Map of Greece. In Germak, V.-Rybach, L. Terastrial Heat Flow in Europe, Springer pp.197–205.

Galán E., Fernández-Caliani JC., González I., Aparicio P., Romero A., 2008. Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of south-west Spain. Journal of Geochemical Exploration 98:89–106.

Gallego J.L.R., Ordóñez A., Loredo J., 2002. Investigation of trace element sources from an industrialised area (Avilés, Northern Spain) using multivariate statistical methods. Environmental International, 27:589–596.

Gambrell RP., Patrick Jr WH., 1978. Chemical and biological properties of anaerobic soils and sediments. Plant life in anaerobic Environments pp.375-423.

Gamvroula D., Alexakis D., Stamatis G., 2011. Assessment of groundwater quality in the Megara basin, Attica, Greece. Advances in the Research of Aquatic Environment, Springer vol 2:393–400.

Gang W., Jing W., Hongbing D., Jingzhu Z., 2006. Nutrient cycling in an Alpine tundra ecosystem on Changbai Mountain, Northeast China. Appl Soil Ecol 32:199-209.

Garcia-Miragaya J., 1984. Levels, chemical fractions and solubility of lead in roadside soils of Caracas. Venezuela, Soil Sci 138:147–152.

Gartzos E., Stamatis G., 1996. Genesis of the thermal springs of the Sperchios graben, Greece. N lb. Gea1 Poldont Mh H2:91–115.

Gaudette HE., Flight WR., Toner L., Folger DW., 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. J. Sed. Petr., 44: 249-253. Duchaufour Ph., 1970. Précis de Pédologie. Masson, Paris, pp.481.

Geist H.J., Lambin E.F., 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. Bioscience, 52, p. 143-150.

Georgakopoulos A., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A. 1992. Morphology, mineralogy and chemistry of the fly ash from the Ptolemais lignite Basin (Greece) in relation to some problems in human health. Trends in Mineralogy 1:301–305.

Geweke J.F., 1977. The dynamic factor analysis of economic time series models. In: Aigner, D.J., Goldberger, A.S. (Eds.), Latent Variables in Socio-economic Models. Amsterdam, North-Holland pp.365–382.

Giannouli A., Kalaitzidis S., Siavalas G., Chatziapostolou A., Christanis K., Papazisimou S., Papanicolaou C., Foscolos A., 2009. Evaluation of Greek low-rank coals as potential raw material for the production of soil amendments and organic fertilizers. Inter Journal Coal Geol 77:383–393.

Gilkes RJ., McKenzie RM., 1988. Geochemistry and Mineralogy of Manganese in Soils. Developments in plant and soil Sciences, Vol 33:23-35.

Gleyzes C., Tellier S., Michel M., 2002. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction procedures. Trends in analytical chemistry, vol 21:(6&7).

Golobocanin D., krbic BD., Miljevic NR., 2004. Principal component analysis for soil contamination with PAHs. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 72:219–223.

Goltermann H.L., 1985. The geochemistry of the Rhine and the Rhone: 5 Synthesis and conclusions. Ann Limnol 21:191– 201.

Graham A.L., 1995. The Code of good agricultural practice for the protection of water with particular reference to form waste management plans. Croatian Waters 3:309–312.

Gray N.F., 1994. Drinking water quality. Problems and Solutions. John Wiley & Sons, New York.

Greenacre M.J., 1984. Theory and application of correspondence analysis. London: Academic Press.

Gregorich EG., Voroney RP., Kachanoski RG., 1991. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures. Soil Biology and Biochemistry 23:799-805.

Gregory K.J., Walling D.E., 1973. Drainage basin form and process. A Geomorphological Approach. New York, John Wiley & Sons Co, pp.456.

Hanesch M., Rantitsch G., Hemetsberger S., Scholger R., 2007. Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: their consideration in magnetic pollution mapping. Sci Total Environ 382:351–363.

Harrison SP., Digerfeldt G., 1993. European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. Quaternary Science Reviews 12:233–248.

He ZL., Yanga XE., Stoffellab PJ., 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. Review. J. Trace Elem Med Biol 19:125–14

Heath RC., 1964. Seasonal temperature fluctuations in surficial sand near Albany, New York, U.S. Geological Survey Prof Paper 475-D:204–208.

Helstrup T., Jorgensen NO., Banoeng-Yakubo B., 2007. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater from Cretaceous–Eocene limestone aquifers in southern Ghana and Togo using hierarchical cluster analysis. Hydrogeol 15:977–989.

Hem Jd., 1989. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 3rd edition, U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 2254.

Hesteberg D., 1998. Biochemical cycles and processes leading to changes in mobility of chemicals in soils. Agriculture Ecosystems and Environment 67:121–133.

Hillel D., 1980. Fundamentals of Soil Physics. New York: Academic Press pp.413.

Hodgson JF., Geering HR., Norvell WA., 1965. Micronutrient Cation Complexes in Soil Solution: Partition Between Complexed and Uncomplexed Forms by Solvent Extraction. Soil Science Society of America, Vol 29(6):665-669.

Hoffman DL., Franke GR., 1986. Correspondence analysis: Graphical representation of categorical data in marketing research. Journal of Marketing Research 23:213–227.

Horton R., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol Soc Amer Bull 56:275-370.

Horton R.E., 1932. Drainage-basin characteristics. Trans. Amer. Geophys. Union, 13:350-361.

I.G.M.E. 2001. Geochemical atlas of the Laurion urban area for environmental protection and planning, pp.370.

Isermann M., 2005. Soil pH and species diversity in coastal dunes. Plant Ecology 178:111-120.

Iwashita M., Shimamura T., 2003. Long-term variations in dissolved trace elements in the Sagami River and its tributaries (upstream area), Japan. The Science of the Total Environment 312:167–179.

Jenkinson DS., 1988. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. Advances in Nitrogen cycling in Agricultural Ecosystems. JR., Wilson CAB International, UK, pp.368-386.

Jiang Y., Wu Y. Groves C., Yuan D., Kambesis P., 2009. Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China. J Cont Hydr 109(1-4):49-61.

Joffe JS., 1936. Pedology. New Bruswick, N.J., Rutgers University Press.

Johnson C., Ander L., 2008. Urban geochemical mapping studies: how and why we do them. Environmental Geochemistry and Health, 30(6):511-530.

Jones RT., Robeson MS., Lauber CL., Hamady M., Knight R., Fierer N., 2009. A comprehensive survey of soil acidobacterial diversity using pyrosequencing and clone library analyses. The ISME Journal 3:442-453.

Ju TX., Kou CL., Zhang SF., Christie P., 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. Envir Pollut 143(1):117-125.

Jury WA., Gardner WR., Gardner WH., 1991. Soil Physics 5th ed. John Wiley & Sons Inc., New York, xv+328 pp.

Kabata-Pendias A., 1993. Behavioural properties of trace metals in soils. Applied Geochem.Supplementary Issue No. 2, Environmental Geochemistry, pp.3-9.

Kabata-Pendias A., Mukherjee B., 2007. Trace Elements from Soil to Human, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp.550.

Kabata-Pendias A., Pendias H., 1992. Trace Elements in Soil and Plant, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, pp.365.

Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001. Trace elements in soils and Plants 3rd ed. CRC Press, New York, pp.413.

Kachanoski RG., Gregorich EG., Van-Wesenbeeck IJ., 1988. Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. Can J Soil Sci 68:715-722.

Kaiser H., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, Psychometrika Volume 23(3):187–200.

Kalähne R., Amin M., Sobottka J., Robert Sauerbrey R., 2000. Methods of multivariate data analysis applied to the investigation of fen soils. Analytica Chimica Acta 420:205–216.

Kalbitz K., Wenrich R., 1998. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter. The Science of the Total Environment 209:27–39.

Karageorgis A., Nikolaidis N., Karamanos H., Skoulikidis N. 2003. Water and sediment quality assessment of the Axios River and its coastal environment. Continental Shelf Research 23:1929–1944.

Karamanis D., Stamoulis K., Ioannides K., Patiris D., 2008. Spatial and seasonal trends of natural radioactivity and heavy metals in river waters of Epirus, Macedonia and Thessalia. Desalination 224:250–260.

Karamanos H., Polyzonis E., 1998. Thermaikos Gulf: The adjacent land area and its potentiality for the fresh water and sediment supply. In: Anagnostou, Ch. (Ed), Dynamics of Matter Transfer and Biogeochemical Cycles: Their Modeling in Coastal Systems of the Mediterranean Sea. 2nd Scientific Report Metro-Med Project, EU MAS3- CT96-0049 Commission of the European Union, Vol. I, pp.92–105.

Karataglis SS., Kabassakalis B., Alexiadis C., 1981. Environmental lead pollution. In: Int Conf on environmental pollution, Thessaloniki, Greece pp.203-211.

Katsikatsos G., Migiros G., Triantaphyllis M., Mettos A., 1986. Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly–SW Macedonia. Euboea–Attica–Northern Cyclades islands and Lesvos). I.G.M.E. Geol. Geophys Res Special Issue:191–212.

Keery J., Binley A., Crook N., Smith J., 2006. Temporal and spatial variability of groundwater–surface water fluxes: Development and application of an analytical method using temperature time series, Journal of Hydrology 336:1–16.

Kelepertsis A., Alexakis D., Kita I., 2001. Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki area, Korinthos, Greece. Environmental Geochemistry and Health 23(2):117–135.

Kelepertsis E., Galanos E., Mitsis I., 2012. Origin, mineral speciation and geochemical baseline mapping of Ni and Cr in agricultural topsoils of Thiva Valley (central Greece). Journal of Geochemical Exploration, 125:56-68.

Keller E.A., Pinter N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. 2nd edition Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, pp.362.

Kelly J., Thornton I., Simpson P.R., 1996. Urban geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. Applied Geochemistry 11:363–370.

Kisekkaa I., Migliaccioa KW., Muñoz-Carpenab R., Schaffera B., Lia YC., 2013. Dynamic Factor Analysis of Surface Water Management 1 Impacts on Soil and Bedrock Water Contents in Southern Florida Lowlands. Journal of Hydrology http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.035.

Kolle W., Strebel O., Bottcher J., 1985. Formation of sulfate by microbial denitrification in a reducing aquifer. Water Supply 3:35–40.

Konstantinou M., 1992: Phytosociological Studies of the Vegetation on Metalliferous Soils, in Northern Greece. PhD. Thesis, Thessaloniki.

Konstantinou I., Hela D., Albanis T., 2006. The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. Environmental Pollution 141:555–570.

Kotaś J., Stasicka Z., 2000. Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. Environmental Pollution, 107(3):263-83.

Koutrakis E., Perdikaris C., Machino Y., Savvidis G., Margaris N., 2007. Distribution, recent mortalities and conservation measures of crayfish in Hellenic fresh waters. Bull. Fr. Pêche Piscic, 385 : 25-44.

Krajnc M., Gacin M., Krsnic P., Sodja E., Kolenc A., 2007. Groundwater quality in Slovenia assessed upon results of national groundwater monitoring. EWRA, European Water; 19/20: 37-46.

Krzysztof L., Danuta W., Irena K., 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. Environment International 30:159–165.

Kumru MN., Bakac M. 2003. R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydın basin, Turkey. Journal of Geochemical Exploration 77:81–91.

Kyoung-Ho K., Seong-Taek Y., Byoung-Young C., Gi-Tak C., Yongsung J., Kangjoo K., Hyoung-Soo K., 2009. Hydrochemical and multivariate statistical interpretations of spatial controls of nitrate concentrations in a shallow alluvial aquifer around oxbow lakes (Osong area, central Korea), Journal of Contaminant Hydrology 107:114–127.

Lambrakis N., 1991. Elaboration of the hydrochemical data by PC, Mineral Wealth 74:53–60 (In Greek).

Lambrakis N., Antonakis A., Panagopoulos G., 2004. The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research. Water Research 38:1862–1872.

Lambrakis N., Stamatis G., Giannoulopoulos P., Voivonta A., 2001. Groundwater quality and estimation of rehabilitation time of the Argolid plain's aquifers under artificial recharge conditions. Bull Geol Soc Greece XXXIV(5):1819–1826.

Lambrakis N., Zagana E., Katsanou K., 2012. Geochemical patterns and origin of alkaline thermal waters in Central Greece (Platystomo and Smokovo areas). Environ Earth Sci, DOI 10.1007/s12665-012-2073-5.

Lauber CL., Strickland MS., Bradford MA., Fierer N., 2008. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. Soil Biology & Biochemistry 40:2407-2415.

LeBlanc DR., 1984. Sewage plume in a sand and gravel aquifer, Cape Cod Massachusetts. USGS Water-Supply 2218:pp.28.

Li XD., Poon CS., Pui SL., 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. Applied Geochemistry 16:1361–1368.

Lieth H., Markert B., 1990. Element concentration cadasters in ecosystems. State of the art and plans for the further development of an international research program till 1990. In: Lieth, H., Markert, B. (Eds.), Element Concentration Cadasters in Ecosystems, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany, pp.3–14.

Lillesand T. M., Kiefer R. W., 1994. Remote Sensing and image interpretation, third edition, John Wiley & Sons Inc., New York.

Lindsay W., 2001. Chemical equilibria in soils. Blackburn Press, pp.472.

Lindsay WL., 1979. Chemical equlibria in soils. John Wiley & Sons, New York, NY.

Liu WH., Zhao JZ., Ouyang ZY., Söderlud L., Liu GH., 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environment International 31:805–812.

Lloyd J., Heathcote J., 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Claredon press, Oxford, p. 296.

Loeppert R., Suarez D., 1996. Carbonate and Gypsum. Publications from USDA-ARS U.S., pp.39.

Love D., Hallbauer D., Amos A., Hranova R., 2004. Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. Physics and Chemistry of the Earth 29:1135–1143.

Ma LQ., Rao G.N., 1997. Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zinc in contaminated soils. J Environ Qual 13:372–376.

Madrid L., Diaz-Barrientos E., Madrid F., 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. Chemosphere 49:1301–1308.

Magesh NS., Krishnakumar S., Chandrasekar N., Soundranayagam JP., 2012. Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu, India. Arab J Geosci, DOI 10.1007/s12517-012-0673-8.

Maiz I., Arambarri I., Garcia R., Millan E. 2000. Evaluation of heavy metal availability in polluted soils by two sequential extraction procedures using factor analysis. Environmental Pollution 110:3-9.

Maki A.W., Parcilla B.D., Wenett, H.R., 1984. The impact of detergent phosphorus Bans on receiving water quality. Water Res 18:893–903.

Marchant BP., Tye AM., Rawlins BG., 2011. The assessment of point-source and diffuse soil metal pollution using robust geostatistical methods: a case study in Swansea (Wales, UK). European Journal of Soil Science 62:346–358.

Martin AC., Rivero VC., Marin MTL., 1998. Contamination by heavy metals in soils in the neighborhood of a scrapyard of discarded vehicles. The Science of the Total Environment 212:142–152.

Massmann G., Pekdegera A., Merzb C., 2004. Redox processes in the Oderbruch polder groundwater flow system in Germany, Applied Geochemistry 19:863–886.

Matthess G., 1982. The properties of groundwater, John Wiley & Sons, pp.500.

McBride M., 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, pp.406.

McKenzie RM., 1977. Manganese oxides and hydroxides. Minerals in soil environment. Soil Sci Soc Am J 41(1):181-193.

McLean F., 1982. Soil pH and lime requirement. In A.L. Page (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy, 9:199-223.

Megremi, I., 2010. Distribution and bioavailability of Cr in central Euboea, Greece. Central European Journal of Geosciences 2, 103–123.

Metz K. E., 1998. "Emergent Understanding and Attribution of Randomness: Comparative Analysis of the Reasoning of Primary Grade Children and Undergraduates". Cognition and Instruction 16(3)285–365.

Meybeck M., 1979. Pathways of major elements from land to ocean through rivers. In: Martin J-M, Burton JD, Eisma D, editors. River inputs in ocean systems. SCOR/ACMRR/ECOR/ IAHS/UNESCO/CMG/IABO/IAPSO Review and Workshop, 26–30 March 1979, Rome, Italy; 1981. p. 18–30.

Mielke H.W., Gonzales C.R., Smith M.K., Mielke P.W., 1999. The urban environment and USA. Environment Research 81:117–129.

Mielke HW., 1999. Lead in the inner cities. American Scientist, 87:62–73.

Mielke HW., Wang G., Gonzales CR., Powell ET., Le B., Quach VN., 2004. PAHs and metals in the soils of inner-city and suburban New Orleans, Louisiana, USA. Environmental Toxicology and Pharmacology, 18: 243-247.

Miller V.C., 1953. A quantitive geomorphic study of the drainage basin characteristics in the Clinch Mountain Area Virginia and Tennessee. Tech. Rep. No3, Dept. of Geology, Columbia University, New York, p. 45.

Milovanovic M., 2007. Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe. Desalination 213:159–173.

Minnich MM., McBride MB., Chaney RL., 1987. Copper activity in soil solution: II. Relation to copper accumulation in young snapbeans. Soil Sci. Soc. J 51, pp.573.

Mirauda D., Ostoich M., 2011. Surface water vulnerability assessment applying the integrity model as a decision support system for quality improvement. Environmental Impact Assessment Review 31:161–171.

Misopolinos N., 1990. Salinization and soil conservation-physicochemical and practical aspects. Eur. Soc. Soil Conserv. (ESSC) Newsletter1:8–9.

Misopolinos N., Silleos N., Prodromou K., 1988. The influence of exchangeable Mg on certain physical soil properties in a number of Mg-affected soils. Catena vol 15:127-136.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2000. Wetlands (3rd Ed.). John Wiley and Sons Inc., New York, 920 pp.

Mitsios IK., Golia EE., Tsadilas CD., 2005. Heavy metal concentrations in soils and irrigation waters in Thessaly region, Central Greece. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36:487–501.

Molenaar P.C.M., 1985. A dynamic factor model for the analysis of multivariate time series. Psychometrika 50:181–202.

Monjerezi M., Vogt R., Aagaard P., Saka J., 2011. Hydro-geochemical processes in an area with saline groundwater in lower Shire River valley, Malawi: An integrated application of hierarchical cluster and principal component analyses. Applied Geochemistry 26:1399–1413.

Moreno F., Murillo JM, Pelegrı´n F., Giro´n IF., 2006. Long-term impact of conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active $CaCO_3$. Soil & Tillage Research 85:86–93.

Morse G.K., Lester J.N., Perry R., 1993. The economic and environmental impact of phosphorus removal from wastewater in the European Community. Selper Publications.

Mountrakis D., Kilias, A., Pavlides, S., Zouros, N., Spyropoulos, N., Tranos, M., Soulakellis, N., 1993. Field study of the southern Thessaly highly active fault zone. Proceedings of the 2nd congress of the Hellenic Geophysical Union, Florina 5-7 May, vol 2/3:603-614.

Mountrakis D., Sapountzis E., Kilias A., Eleftheriadis G., Christofides G., 1983. Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. Can J Early Sci 20:1673–1681.

Moustaka–Gouni M., Nikolaidis G., 1994. Phytoplankton and nutrients of the River Nestos, Greece. Fresenius Envir Bull 3:152–157.

Mull R., Harig F., Pielke M., Clark L., Hartwell D., Beraud JF., Harris RC., 1992. Groundwater management in the urban area of Hanover, Germany. J Inst Water Environ Manage 6:199–206.

Munoz-Carpena R., Ritter A., Li YC., 2005. Dynamic factor analysis of groundwater quality trends in an agricultural area adjacent to Everglades National Park Journal of Contaminant Hydrology 80:49 –70.

Nagendra H., Munroe D. K., Southworth J., 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. Agriculture, Ecosystems and Environment, vol. 101 (2-3), p. 111-115.

Nash, J. E., Sutcliffe J. V, 1970. River flow forecasting through conceptual models, I, A discussion of principles. Journal of Hydrology 10(3):282-290.

Nelson DW., Sommers LE., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Page A.L., (Ed). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Biological Properties. 2nd edition. Agronomy No 9. American Society of Agronomy, Madison 539-579.

Neofitou N., Charizopoulos N., Vafidis D., Skordas K., Tziantziou L., Neofitou. C., 2013. Mussel farming impacts on trophic status and benthic community structure in Maliakos Gulf (Eastern Mediterranean). Aquacult Int, Vol 21:5.

Ng HYF., Glegg SB., 1997. Atrazine and metolachlor losses in runoff events from a agricultural watershed: the importance of runoff components. Sci Total Environ 193:215–228.

Nicholson FA., Smith SR., Alloway BJ., Carlton-Smith C., Chambers BJ., 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. The Science of the Total Environment 311:205–219.

Norusis M., 2011. IBM SPSS Statistics 19 Guide to Data Analysis, Pearson Publishers, pp.672.

Oikonomou A., Katsiapi M., Karayanni H., Moustaka-Gouni M., Kormas K., 2012. Plankton Microorganisms Coinciding with Two Consecutive Mass fish Kills in a Newly Reconstructed Lake. The Scientific World Journal, Vol. 2012, pp.14.

Olmez I., Beal J., Villaume J., 1994. A new approach to understanding multiple-source groundwater contamination: Factor Analysis and chemical mass balance. Wat Res 28(5):1095–1101.

Osmond DL., Line DE., Gale JA., Gannon RW., Knott CB., Bartenhagen KA., Turner M.H., Coffey SW., Spooner J., Wells J., Walker J.C., Hargrove LL., Foster MA., Robillard PD., Lehning DW., 1995. Water, Soil and Hydro-Environmental Decision Support System. URL:www.water.ncsu.edu/watersheds/info /hmetals.html

Oze C., Bird DK., Fendorf S., 2007. Genesis of hexavalent chromium from natural sources in soil and groundwater. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 104:6544–6549.

Pacheco J., Marin L., Cabrera A., Steinich B., Escolero O., 2001. Nitrate temporal and spatial patterns in 12 water-supply wells, Yucatan, Mexico. Environmental Geology 40:708–715.

Page AL., Bingham FT., 1973. Cadmium residues in the environment. Residue Rev 48(0):1-44.

Palumbo-Roe B., Cave MR., Klinck BA., Wragg J., Taylor H., O'Donnell K., 2005. Bioaccessibility of arsenic in soils developed over Jurassic ironstones in eastern England. Environ Geochem Health 27:121–30.

Papadopoulos P., Rowell DL., 1988. The reactions of Copper and Zinc with calcium carbonate surfaces. Journal of Soil Sciences, 39:39-48.

Papazachos BC., Hatzidimitriou PM., Karakaisis GF., Papazachos CB., Tsokas G.N., 1993. Rupture zones and active crustal deformation in southern Thessalia, central Greece. Boll. Geof Teor Appl 35:363-374.

Papazachos BC., Papadimitriou EE., Kiratzi AA., Papazachos CB., Louvari EK., 1998. Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implications, Bol. Geofis Teor Appl 39:199–218.

Papendick R., Parr J., 1992. Soil quality-The key to a sustainable agriculture. American Journal of Alternative Agriculture 7:2–3.

Pavlopoulos K., Chrisanthaki I., Economou - Eliopoulos M., Lekkas S., 2011. Hydrochemical study of metals in the groundwater of the wider area of Koropi. Advances in the Research of Aquatic Environment, Springer 2:169–176.

Payne GG., Martens DC., Wivarko C., Perea NF., 1988. Form and availability of copper and zinc following long-term copper sulfate and zinc sulfate applications. J Environ Qual, 17:707-711.

Peech M., 1965. Hydrogen-ion activity, in C.A. Black Ed. Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy Number 9, American Society of Agronomy, Madison, WI:914–926.

Perkin Elmer Corporation, 1996. Handbook of Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry (Perkin-Elmer, USA).

Petach MC., Wagenet RJ., DeGloria SD., 1991. Regional water flow and pesticide leaching using simulations with spatially distributed data. Geoderma 48:245–269.

Philip GM., Watson DF., 1982. A precise Method for Determining Contoured Surfaces, Australian Petroleum Exploration Association journal 22:205–212.

Photiades A., Saccani E., Tassinari R., 2003. Petrogenesis and tectonic setting of volacanic rocks from the subpelagonian ophiolite mélange in the Agoriani area (Othrys, Greece), Ofioliti, 2003, 28(2):121-135.

Postma, D., Boesen, C., Kristiansen, H., Larsen, F., 1991. Nitrate reduction in an unconfined sandy aquifer: water chemistry, reduction processes and geochemical modeling. Water Resour Res; 27(8): 2027–2045.

Preston J., Engel B., Lalor GC., Vutchkov MK., 1996. The application of geographic information systems to geochemical studies in Jamaica. Environ. Geochem. Health 18:99–104.

Psilovikos A., Margoni S., Psilovikos A., 2006. Simulation and trend analysis of the water quality monitoring daily data in Nestos river delta. Contribution to the sustainable management and results for the years 2000-2002. Environmental Monitoring and Assessment 116:543–562.

Pueyo M., Mateu J., Rigol A., Vidal M., López-Sánnchez JF., Rauret G., 2008. Use of the modified BCR three-step sequential extraction procedure for the study of trace elements dynamics in contaminated soils. Environmental Pollution 152:330-341.

Ramsar Convention Bureau, 2000. Ramsar handbook for the wise use of wetlands. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland, 465 pp.

Randle K., Harymann EH., 1995. Applications of the continuous-flow stirred-cell (CFSC) technique: II. The adsorption behaviour of Na, Cs, Sr, Cu, Ni and Pb on humic acids. European Journal of Soil Science, Vol 46(2):303-315.

Rashid M., Leonard I., 1973. Modifications in the solubility and precipitation behavior of various metals as a result of their interaction with sedimentary humic acid. Chem Geol 11:89-97.

Rawlins BG., Lark RM., O'Donnell KE., Tye AM., Lister TR., 2005. The assessment of point and diffuse metal pollution of soils from an urban geochemical survey of Sheffield, England. Soil Use Manage 21:353–62.

Reddy G.P.O., Maji A.K., Gajbhiye K.S., 2004. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India - a remote sensing and GIS approach. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, Vol. 6, pp.1-16

Reimann C., Arnoldussen A., Englmaier P., Filzmoser P., Finne T.E., Garrett R.G., Koller F., Nordgulen Ø., 2007a. Element concentrations and variations along a 120 km long transect in south Norway – anthropogenic vs. geogenic vs. biogenic element sources and cycles. Appl Geochem 22:851–871.

Reimann C., Arnoldussen A., Finne T.E., Koller F., Nordgulen Ø., Englmaier P., 2007b. Element contents in mountain birch leaves bark and wood under different anthropogenic and geogenic conditions. Appl Geochem 22:1549–1566.

Reimann C., de Caritat P., 2005. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. Sci. Total Environ 337:91–107.

Reimann C., Finne TE., Nordgulen Ø., Saether OM., Arnoldussen A., Banks D., 2009. The influence of geology and land-use on inorganic stream water quality in the Oslo region, Norway. Appl Geochem 24:1862–1874.

Reimann C., Siewers U., Tarvainen T., Bityukova L., Eriksson J., Gilucis A., Gregorauskiene V., Lukashev VK., Matinian NN., Pasieczna A., 2003. Agricultural soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, pp.279.

Ritter D.F., Kochel R.C., Miller J.R., 2002. Process Geomorphology. Fourth edition, p. 560.

Rose A.W., Cravotta III C.A., 1998. Geochemistry of coal mine drainage. In: Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania. The Pennsylvania Department of Environmental Protection, pp.1–22.

Rozos, E., Efstratiadis A., Nalbantis I., Koutsoyiannis D., 2004. Calibration of a semi-distributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows, Hydrological Sciences Journal, 49(5):819-842.

Rudd T., 1987. Scope of the problem. In: Lester JN, editor. Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes. Volume I Sources, analysis, and legislation. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc pp.1–29.

Sabins F., 1997. Remote Sensing: (Principles and Interpretation). W.H. Freeman and company, N. York.

Samson SA., Lewis DT., 1991. Numerical taxonomy of soils using spectral information of overlying range vegetation. Geoderma. 50:1-11.

Savic R., Belic S., Belic A., 2006. Water Pollution in agriculture drainage area and measures for action. EWRA. European Water; 13/14:15-20.

Schroeder D., 1984. Soils-Facts and Concepts-Int. Potash Institute, Bern/Switzerland, pp.140.

Schumm S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. Amer. Bull., 67, pp.597-646.

Scott, D.A., 1993. A Directory of Wetlands in Oceania. IWRB, Slimbridge, UK and AWB, Kuala Lumpur, Malaysia, 444 pp.

Self JR., Soltanpour PN., 2010. Colorado State University, Cooperative Extension, Soil Sampling, 3p, Internet link: http/www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00500.html.

Selinus O., 2005. Essentials of medical geology impacts of the natural environment on public health. Elsevier Academic Press.

Senarath A., 2003. Soil spatial variability in northern Manawatu, New Zealand : a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Soil Science. Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp.421.

Serelis K., Kafkala I., Parpodis K., Lazaris S., 2010. Anthropogenic and geogenic contamination due to heavy metals in the vast area of Vari, Attica. Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 12th International Congress, Patras.

Shaheen SM., Tsadilas CD., Mitsibonas Th., Tzouvalekas M., 2009. Distribution coefficient of copper in different soils from Egypt and Greece. Commun. Soil Sci. Plant Anal 40:121–133.

Sharpley AN., Daniel T., Sims T., Lemunyon J., Stevens R., Parry R., 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication, second ed. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS 149.

Shomar BH., Muller G., Yahya A., 2005. Geochemical features of topsoils in the Gaza Strip: natural occurrence and anthropogenic inputs. Environ Res 98:372–382.

Shukla MK., Lal R., Ebinger M., 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research 87:194–204.

Siebielec G., Chaney RL., 2006. Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37:1-17.

Siegel F.R., 2002. Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 218.

Sikora LJ., Bent MG, Corey RB., Keeney DR., 1976. Septic Nitrogen and Phosphorus Removal Test System. Groundwater, 14/5:309–314.

Skoulikidis N., 1993. Significance evaluation of factors controlling river water composition. Environ Geol (22):178–85.

Skoulikidis N., 2009. The environmental state of rivers in the Balkans—A review within the DPSIR framework Science of the Total Environment 407:2501–2516.

Skoulikidis N., Amaxidis Y., Bertahas I., Laschou S., Gritzalis K., 2006. Analysis of factors driving stream water composition and synthesis of management tools-A case study on small/medium Greek catchments. Science of the Total Environment 362:205–241.

Skoulikidis N., Gritzalis K., Kouvarda T., Buffagni A., 2009. The development of an ecological quality assessment and classification system for Greek running waters based on benthic macroinvertebrates. Hydrobiologia 516:149–160.

Skoulikidis NT., Bertahas I., Koussouris T., 1997. The environmental state of freshwater resources in Greece Rivers and lakes. Springer-Verlag, Environmental Geology 36:1–2.

Smith E., Naidu R., Weber J., Juhasz AL., 2008. The impact of sequestration on the bioaccessibility of arsenic in long-term contaminated soils. Chemosphere 71:773–780.

Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy – a basic system of soil classification for making and interprenting soil surveys. Arg. Handb No 436, U.S. Dep. Of Arg., Washigton, D.C.

Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2th ed. Arg Handb US Dep Of Arg. Washigton DC N^{o} 436, pp.436.

Solley WB., Pierce RR., Perlman HA., 1990. Estimated use of water in the United States in 1990. US Geological Survey Circular 1081.

Sposito G., 1980. Applied Environmental Geochemistry. Ed. I. Thorton, Academic press, London pp.202-229.

Sposito G., 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press, New York-Oxford pp.277.

SPSS 19.0, 2010. IBM SPSS Statistics 19.0.

Stalikas CD., Chaidou CI., Pilidis GA., 1997. Enrichment of PAHs and heavy metals in soils in the vicinity of the lignite-fired power plants of West Macedonia. Science of the Total Environment 204:135–146.

Stamatis G., 1999. The chemical composition of the surface system of Peneos river, Thessaly/Central Greece. Environmental Geology 38 (2):126-140.

Stamatis G., Alexakis D., Gamvroula D., Migiros G., 2011a. Groundwater quality assessment in Oropos-Kalamos basin, Attica, Greece. Environmental Earth Sciences 64(4):973-988.

Stamatis G., Boudouris K., 2003. Marine and human activity influences on the groundwater quality of southern Korinthos area. Int J Hydrol Process (17):2327–2345.

Stamatis G., Parpodis K., Filintas A., Zagana E., 2011b. Groundwater quality, nitrate agricultural region in central Thessaly (Greece). Environ Earth Sci 64 (4):1081-1105.

Stamatis G., Parpodis, K, Lambrakis, N, Zagana, E., 2007. Origin and quality of thermal groundwaters in the region of Farsala (E. Thessaly/Greece). Bull Geol Soc Greece XXXX, pp.570–571.

Stambuk-Giljanovic N., 2006. The pollution load by nitrogen and phosphorus in the Jadro River. Environmental Monitoring and Assessment, 123: 13–30.

Steinhorst, R.K., Williams, R.E., 1985. Discrimination of groundwater sources using cluster analysis, MANOVA, canonical analysis and discriminant analysis. Water Resour Res 21: 1149–1156.

Steinnes E., Njastad O., 1995. Enrichment of metals in the organic surface layer of natural soil: identification of contributions from different sources. Analyst 120:1479–1483.

Stevenson EJ., 1986. Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, and Micronutrients. John Wiley and Sons, New York.

Stollenwerk KG., 1996. Simulation of phosphate transport in sewage-contaminated groundwater Cape Cod Massachusetts. Applied Geochemistry 11(1-2):17-324.

Strahler N.A., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geol Soc. Amer Bull 63:913-920.

Strahler N.A., 1954. Statistical analysis in geomorphic research. Jour Geol 62:1-25.

Strahler N.A., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Amer Geophys Union Trans 38 (6):1117-1142.

Strahler N.A., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Handbook of applied Hydrology. V.T. Chow (ed.), New York, Mac Graw-Hill. Section 4-II.

Struckmeier W., Margat J., 1995. Hydrogeological Maps: a Guide and a Standard Legend. Int. Contibution to Hydrogeol, Hannover, Vol. 17.

Tack FMG., Verloo MG., 1995. Intern J Environ Anal Chem 59:225.

Tariq S., Shah M., Shaheen N., 2009. Comparative statistical analysis of chrome and vegetable tanning effluents and their effects on related soil. Journal of Hazardous Materials 169:285–290.

Tariq S., Shah M., Shaheen N., Khalique A., Manzoor S., Jaffar M., 2005. Multivariate analysis of selected metals in tannery effluents and related soil. Journal of Hazardous Materials A122:17–22.

Tessier A., Campell PGC., Bisson M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry 51: 844-850.

Theocharopoulos SP., Petrakis PV., Trikatsoula A., 1977. Multivariate analysis of soil grid data as a soil classification and mapping tool: the case study of a homogeneous plain in Vagia, Viotia, Greece. Geoderma 77:63-79.

Thomas GW., 1996. Soil pH and soil acidity, in D.L. Sparks, Ed., Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA Book Series Number 5, Soil Science Society of America, Madison, WI:475–490.

Thomas GW., Hargrove WL., 1984. The chemistry of soil acidity, in F. Adams, Ed., Soil Acidity and Liming, 2nd ed., American Society of Agronomy, Madison, WI:3–56.

Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev. No 38: 55-94.

Tiller KG., 1989.Anvances in Soil Sci 9:113-142.

Tisdale S., Nelson W., 1975. Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publishing Co. Inc. New York, p. 240.

Tonkin JW., Balistieri LS., Murray JW., 2004. Modeling sorption of divalent cations on hydrous manganese oxide. Appl Geochem 19:29-53.

Trewartha GT., Horn LH., 1980. An introduction to climate. 5th Edition, McGraw-Hill, Inc. New York.

Tricca A., Stille P., Steinmann M., Kiefel B., Samuel J., Eikenberg J., 1999. Rare earth elements and Sr and Nd isotopic compositions of dissolved and suspended loads from small river systems in the Vosges mountains (France), the river Rhine and groundwater. Chemical Geology 160:139–158.

Tryfon H., Moustaka–Gouni M., Nikolaidis G., 1996. Phytoplankton and Nutrients in the River Strymon, Greece. Int Revue Ges Hydrobiol 81:281–292.

Tsipoura-Vlachou M., Stamatakis M., 2005. Mineralogy and geochemistry of evaporitic clay formations of the alkaline lake pikrolimni. Macedonia. Greece. 7th Hellenic Hydrogeological Conference. Athens 2:319–334.

Tziritis E., Kelepertzis A., Fakinou G., 2011. Geochemical status and interactions between soil and groundwater systems in the area of Akrefnio, Central Greece. Risk assessment, under the scope of mankind and natural environment. J Water Land Dev 15:127–144.

Tóth J., 1999. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. Hydrogeology Journal 7:1–14.

Vinten AJA., Howard RS., Redman MH., 1991. Measurement of nitrate leaching losses from arable plots under different nitrogen input regimes. Soil Use Manag 7:3–14.

Voudouris K.S., Lambrakis N.J., Papatheodorou G., Daskalaki P., 1997. An Application of Factor Analysis for the Study of the Hydrogeological Conditions in Plio-Pleistocene Aquifers of NW Achaia (NW Peloponnesus, Greece). Mathem Geol 29(1):43–59.

Wakida F., Lerner D., 2005. Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. Water Research 39:3–16.

Wang WJ., Dalal RC., Moody PW., Smith CJ., 2003. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. Soil Biology and Biochemistry 35:273-284.

Ward JH., (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. J Am Stat Assoc 58(301):236–244.

Watson DF., Philip GM., 1985. A Refinement of Inverse Distance Weighted interpolation. Geoprocessing 2:315–327.

Webb JA., Sasowsky ID., 1994. The interaction of acid mine drainage with a carbonate terrane: evidence from the Obey River, north-central Tennessee. J. Hydrol. 161, 327–346.

Webber MD., Kloke A., Tjell JC., 1984. A review of current sludge use guidelines for the control of heavy metal contamination in soil. In: L'Hermite P, Ott H (eds) Processing and use of sewage sludge. Reidel Publishing Company, Dordrecht pp. 371–386.

Webster, R. and Oliver, M.A.. 1990. Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. Oxford Univ. Press, Oxford.

WHO, 1996. Guidelines for drinking water quality, Health criteria and other supporting information, World Health Organization, Geneva 2nd ed Vol 2.

Williams B., Hoey D., 1987. The Use of Electromagnetic Induction to Detect the Spatial Variability of the Salt and Clay Content of Soils. Australian Journal Soil Research, 25:21.

Wragg J., Cave M., Nathanail P., 2007. A study of the relationship between arsenic bioaccessibility and its solid-phase distribution in soils from Wellingborough, UK. J Environ Sci Health part A 42:1303–1315.

Xu XK., Zhu WZ., Wang ZJ., Witkamp GJ., 2002. Distributions of rare earth and heavy metals in field grown maize after application of rare earth-containing fertilizer. Sci Total Environ 293:97–105.

Yu G., Harrison S., 1995. Lake status records from Europe: Data base documentation, Paleoclimatology Publications Series Report 3, World Data Center-A for Paleoclimatology, Boulder, CO, USA, 451pp.

Yu, G., 1996. Lake-level records and palaeoclimates of northern Eurasia. Lundqua thesis 37, Lund.

Zak DR., Kling GW., 2006. Microbial Community Composition and Function across an Arctic Tundra Landscape. Ecology 87:1659–1670.

Zalidis G., Stamatiadis S., Takavakoglou V., Kent Eskridge K., Misopolinos N., 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. Agriculture, Ecosystems and Environment 88:137–146.

Zarazua G., Ávila-Pérez P., Tejeda S., Barcelo-Quintal I. and Martínez T., 2006. Analysis of total and dissolved heavy metals in surface water of a Mexican polluted river by Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometry, Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy 61:1180–1184.

Zhou F., Guo H., Liu L., 2007. Quantitative identification and source apportion- ment of anthropogenic heavy metals in marine sediment of Hong Kong Environ Geol 53:295–305.

Zhu Q., Schmidt JP., Bryant RB., 2012. Hot moments and hot spots of nutrient losses from a mixed land use watershed. Journal of Hydrology 414–415:393–404.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεξιάδης Κ., 1967. Φυσική και Χημική Ανάλυσης του Εδάφους. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.

Αλιφραγκής Δ., Παπαμίχος Ν., 1995. Περιγραφή-δειγματοληψία εργαστηριακές αναλύσεις δασικών εδαφών και φυτικών ιστών. Εκδόσεις Δεδούση, Θεσσαλονίκη.

Αναστασιάδης Π., 1994. Διερεύνηση της Ρύπανσης από Νιτρικά Υπόγειων Υδατικών Πόρων με Εφαρμογή σε Φρεάτιο Υδροφορέα του Ν. Χαλκιδικής, Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ., Διδακτορική Διατριβή, σελ. 234.

Αντωνάκος Α., 2012. Χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (G.I.S) για επίλυση προβλημάτων περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας στο Νομό Κορινθίας. Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, σελ. 307.

Αντωνιάδης Β., 2002. Εδαφολογία: Τα εδάφη στα οικοσυστήματα. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, σελ. 70.

Αντωνόπουλος Β., 1995. Ποιότητα Επιφανειακών Υδατικών Πόρων . Στο: Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Τσακίρης, 1995, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 579–618.

Αποστολόπουλος Θ., 2007. Οι θυσίες της Ομβριακής κατά την Ιταλογερμανική κατοχή. Πρακτικά 4ου συνεδρίου Φθιωτικής Ιστορίας, σελ. 55-60.

Αστάρας Θ., 1980. Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη τμήματος των δυτικών πλευρών του όρους Βέρτισκον (Κ. Μακεδονία). Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στη Φυσικομαθηματική Σχολή του ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Βίτσου-Λαμπράκη Α., 2008. Οικολογική διερεύνηση των υγροτόπων δέλτα Αχελώου Στροφυλιάς-Βασιλικής-Κρυονερίου (Δ.Ελλάδα). Συσχετίσεις περιβαλλοντικών παραμέτρων και χλωρίδας-βλάστησης. Τμήμα Βιολογίας Πανεπιστημίου Πατρών Διδακτορική Διατριβή, σελ. 213.

Βουδούρης Κ., 2009. Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 460.

Βρουχάκης Ι., Βουβαλίδης Κ., Σφέικος Α., Μαργώνη Σ., 2004. Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πορταϊκού ποταμού της Θεσσαλίας. Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, τόμος XXXVI/2, σελ. 978-987, Θεσσαλονίκη.

Γαμβρουλά Δ., 2009. Υδρογεωλογική και γεωχημική έρευνα στη λιγνιτοφόρο τριρογενή λεκάνη Μαλακάσας-Ωρωπού. Διερεύνηση προέλευσης των τοξικών μετάλλων στα υπόγεια νερά και στα εδάφη της περιοχής. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Γενικού τμήματος Γ.Π.Α., Αθήνα, σελ. 99–112.

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, Τοπογραφικοί Χάρτες, Φύλλα: Δομοκός (1987), Ευξεινούπολις (1987), Λαμία (1988), Λεοντάριον (1971), (1988), Στυλίς (1990), κλίμακας 1:50.000, Αθήνα.

Γιαννόπουλος Σ., 2002. Εισαγωγή μεθόδων G.I.S. και φωτογραμμετρίας σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων. Μεταπτυχιακές σημειώσεις, Τ.Α.Τ.Μ./ΑΠΘ.

Γιαννουλόπουλος Π., Γκιντώνη Ε., 2008. Ποιότητα των υπόγειων νερών της περιοχής Κορωπίου Αττικής με έμφαση στην κατανομή και προέλευση του Χρωμίου. Πρακτικά 8ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, σελ. 465–476, Αθήνα.

Δάβη Ε., 1990. Μαθήματα Γενικής Γεωλογίας. Σ. Αθανασόπουλος-Σ.Παπαδήμας & ΣΙΑ Ε.Ε., Αθήνα, σελ. 290.

Δελημπούρας Χ., 2007. Η αποξηραμένη λίμνη της Ξυνιάδας. Ωφέλειες-Βλάβες. Πρακτικά 4ου συνεδρίου Φθιωτικής Ιστορίας, σελ. 49-53.

Δημητρίου Δ., Αραπογιάννης Ε., 2001. Κοιτασματολογική έρευνα λιγνιτικού κοιτάσματος Ξυνιάδας Δομοκού. ΙΓΜΕ, Αθήνα, σελ. 74.

Δημόπουλος Γ., 1983. Εφαρμοσμένη Γεωλογία-Τόμος 1ος Υδρογεωλογία, Θεσσαλονίκη, σελ. 428.

Δημόπουλος Γ., 1985. Έρευνα και διαχείριση υδατικών πόρων. Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ. 217.

Ε.Ε.Κ. (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων) 2002. Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Συμβούλιο, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, την Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών, Προς μια θεματική στρατηγική για την προστασία του εδάφους. Βρυξέλλες, 16-4-2002:179 σελ.

Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων, 2008. Μελέτη σκοπιμότητας για την επανασύσταση της τέως λίμνης Ξυνιάδας. Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας - Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), ενότητα 1η, Θέρμη, σελ.114.

ΕΣΥΕ, 1985. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφή της 17ης Μαρτίου 1985, Αθήνα.

ΕΣΥΕ, 1994. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφή της 17ης Μαρτίου 1991, Αθήνα.

ΕΣΥΕ, 2001. Απογραφή αγροτικού τομέα 2001, Αθήνα.

ΕΣΥΕ, 2001. Οικονομικώς ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός , απασχολούμενοι κατά τομέα οικονομικής δραστηριότητας και άνεργοι, Σύνολο Ελλάδος, Γεωγραφική ζώνη (NUTS I), περιφέρεια (NUTS II) , νομός, δήμος / κοινότητα και δημοτικό / κοινοτικό διαμέρισμα. (αποτελέσματα απογραφής 2001), Πληροφορίες από την ιστοσελίδα της ΕΣΥΕ (http://www.statistics.gr/), Αθήνα.

ΕΣΥΕ, 2002. Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά νομούς, δήμους, δημοτικά διαμερίσματα και οικισμούς (αποτελέσματα απογραφής 2001), Πληροφορίες από την ιστοσελίδα της ΕΣΥΕ (http://www.statistics.gr/), Αθήνα.

ΕΣΥΕ, 2009. Στατιστική ταξινόμηση οικονομικών δραστηριοτήτων, (ΣΤΑΚΟΔ 2008), Δομή και τίτλοι, Αθήνα.

ΕΣΥΕ, 2011. Προσωρινά αποτελέσματα του μόνιμου πληθυσμού της Ελλάδος κατά περιφέρειες, περιφερειακές ενότητες και δήμους. Πληροφορίες από την ιστοσελίδα της ΕΣΥΕ (http://www.statistics.gr/), Αθήνα.

Ευστρατιάδης Α., 2001. Διερεύνηση μεθόδων αναζήτησης ολικού βελτίστου σε προβλήματα υδατικών πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνα, MSc thesis, 139 σελίδες.

Ευστρατιάδης Α., κ.α., 2005. Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου προσομοίωσης υδρολογικών-υδρογεωλογικών διεργασιών λεκάνης απορροής, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ευστρατιάδης Α., Κουκουβίνος Α., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ., 2008. Διερεύνηση σεναρίων διαχείρισης του ταμιευτήρα Σμοκόβου. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Τεύχος 3ο.

Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν., 2010. Πρόγραμμα Εκπαίδευσης Συστημάτων Υδροσκοπίου, Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ευστρατιάδης, Α., Ναλμπάντης Ι., Ρόζος Ε., 2004. Μοντέλο προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου στη λεκάνη Βοιωτικού Κηφισού - Υλίκης, Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Τεύχος 21, σελίδες 196.

Ζαχαριάδης Δ., 2006: Υδρογεωλογικές συνθήκες στην λεκάνη Ωρωπού και η επιβάρυνση των υπόγειων νερών από την θαλάσσια διείσδυση. Μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ζήσου Χ., Ψιλοβίκος Α., 2012. Η παρακολούθηση και μοντελοποίηση της κατανομής των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού της λίμνης Κάρλας με χρήση GIS. Πρακτικά 2ου κοινού συνεδρίου ΕΥΕ-ΕΕΔΥΠ, Πάτρα σελ. 1250-1261.

Ζουμπούλογλου Κ., 2006. Μορφομετρική ανάλυση των υδρολογικών λεκανών των ποταμών Κερίτη και Ταυρωνίτη με την χρήση Γ.Σ.Π. (GIS). Διπλωματική εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, σελ. 98.

Θεοδωρίκας Στ. Σ., 1997. Γεωχημεία. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 408.

ΙΓΜΕ, 1989. Σεισμοτεκτονικός Χάρτης της Ελλάδας.

Καββαδάς Μ., 2005. Στοιχεία Εδαφομηχανικής, έκδοση Ε.Μ.Π.

Καλλέργης, Γ., 1999. Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Α΄, Τ.Ε.Ε., Αθήνα, σελ. 331.

Καλλέργης, Γ., 2000. Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, 2η έκδοση, Τόμος Β′, έκδοση Τ.Ε.Ε. Αθήνα σελ. 345.

Καλλέργης, Γ., 2001. Εφαρμοσμένη-Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, 2η έκδοση, Τόμος Γ′, έκδοση Τ.Ε.Ε. Αθήνα σελ. 433.

Καλλιάνου Χ., 2007. Ρύπανση και αποκατάσταση εδαφών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Καραπάνος Η., 2009. Υδρογεωλογικές-Υδροχημικές παράμετροι της αποξηραμένης λίμνης Μουριάς (Ν.Ηλιείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων. Διδακτορική διατριβή που εκπονήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, σελ. 300.

Καρατζάς Θ., 1962. Ιστορία Επαρχίας Δομοκού-Θαυμακού. Αθήνα, σελ 372.

Κάρμης Π., 2010. Ηλεκτρομαγνητική γεωφυσική έρευνα στην περιοχή της αποξηρανθείσας λίμνης Ξυνιάδας. ΙΓΜΕ, Αθήνα, σελ. 50.

Καρύμπαλης Ε., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., Μαρουκιάν Χ., 2005. Η συμβολή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου του μεγάλου ρέματος Ραφήνας και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην εκδήλωση πλημμύρων. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Πρακτικά 11ου Συνεδρίου, σελ. 11.

Κατσέλης Σ., 2008. Ποσοτική γεωμορφολογική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου του Βολιναίου ποταμού. Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα, σελ. 141.

Κελεπερτζής Α.Ε., 1993. Εφαρμοσμένη Γεωχημεία. Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κεραμίδας Β., 1997. Γονιμότητα εδαφών. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., 1999. Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 418 σελίδες.

Κουτσόπουλος Κ., Ανδρουλακάκης Ν., 2005. Εφαρμογές του λογισμικού ArcGis 9x με απλά λόγια. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, σελ. 505.

Λαμπράκης Ν., 1999. Εισαγωγή στην Υδροχημεία. Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ. 158.

Λατινόπουλος Π., 1995. Υδρολογία Υπόγειων Νερών. Στο: Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Τσακίρης, 1995. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 309–342.

Λατινόπουλος Π., Θεοδοσίου Ν., 2007. Εκμετάλλευση και προστασία των υπόγειων υδατικών πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., Διδακτικές σημειώσεις, σελ. 77.

Μαμάσης Ν., 2006. Κατακρημνίσματα και χωρική μεταβλητότητα τους, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (http://itia.ntua.gr/nikos/adv_hydrology/katakr_xor.pdf).

Μαμάσης, Ν., Κουτσογιάννης Δ., 1999. Σημειώσεις Προχωρημένης Υδρολογίας - Μέρος 2ο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 65 σελ.

Μανδηλαράς Δ., 2005. Περιβαλλοντική-Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γλαύκου. Διδακτορική διατριβή που εκπονήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Μαρίνος Γ., 1960. Παλαιοντολογικαί και στρωματογραφικαί έρευναι εις την ανατολικήν Στερεάν Ελλάδα. Δελτίον Ελλ. Γεωλ. Εταιρίας, τόμος IV, τεύχος 1, σελ. 14-28.

Μαρίνος Γ., 1974. Γεωλογία της Όρθρυος και τα θέματα των οφιολίθων αυτής. *Ann Ceo Des Pays Hell* University of Athens, 118-148.

Μαρίνος Γ., Αναστασοπούλου Ι., Μαράτος Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονοπούλου Β., 1957. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Φύλλα Ανάβρα και Δομοκός, 1:50 000. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.

Μαρίνος Γ., Αναστασοπούλου Ι., Μαράτος Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονοπούλου Β., 1962. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Λεοντάριον, 1:50 000. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.

Μαρίνος Γ., Αναστασοπούλου Ι., Μαράτος Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονοπούλου Β., 1963. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Στυλίς, 1:50 000. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.

Μαρίνος Γ., Αναστασοπούλου Ι., Μαράτος Γ., Μελιδώνης Ν., Ανδρονοπούλου Β., 1967. Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Λαμία, 1:50 000. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα.

Μηλιώνης Α., 2006. Η Ανάβρα (Γούρα) της Όθρυος. Ανάβρα Αλμυρού, σελ. 655.

Μήτσιος Ι., 2004. Γονιμότητα εδαφών θρεπτικά στοιχεία φυτών (μακροθρεπτικά, μικροθρεπτικά) και βαρέα μέταλλα, μέθοδοι και εφαρμογές. Εκδόσεις Zymel, σελ. 571.

Μιγκίρος Γ., 1990. Η Λιθοστρωματογραφική-Τεκτονική δομή της Όθρυος (Κεντρική Ελλάδα). Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXVI, 107-120.

Μιγκίρος Γ., 2005. Ειδικά μαθήματα Γεωλογικών εφαρμογών. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 275.

Μιγκίρος Γ., Μανάκος Κ., Σκουρτζή-Κορωναίου Β., Καρφάκης Ι., 1989. Συμβολή στη γνώση της γεωλογίας του Κόζιακα, περιοχή Μουζακίου – Πύλης. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXIII/1, 361 - 393.

Μουντράκης Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 205.

Μουρατίδης Η., 2005. Συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) στη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της υδρολογικής λεκάνης του Γρεβενίτη ποταμού Νομού Γρεβενών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 302.

Μούρτζιος Π., 2008. Γεωμορφολογικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με την ανάπτυξη των χειμάρρων της νήσου Σάμου. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 143.

Μουστάκας Ν., 1997. Σημειώσεις στο μάθημα Γενική Εδαφολογία του 4^{ου} εξαμήνου, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Μπάκος Α., 2009. Ποιοτική ανάλυση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων της ποτάμιας υδρολογικής λεκάνης του Ασωπού υποστηριζόμενη από την ανίχνευση της καρκινογόνου ουσίας του εξασθενούς χρωμίου. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μεταπτυχιακή διατριβή, σελ. 401.

Μπέλλος Δ., 2004. Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων–βαρέων μέταλλων και ραδιοκαισίου στο νερό–ίζημα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βοτανικής σελ 187.

Μπουρογιάννης Γ., 2010. Μαντασιά: Ρίζες και κληρονομιά. Β΄ έκδοση, Λαμία, σελ. 88.

Νοβά – Καλτσούνη Χ., 2006. Μεθοδολογία εμπειρικής έρευνας στις Κοινωνικές Επιστήμες –Ανάλυση Δεδομένων με τη χρήση του SPSS 13. Gutenberg Αθήνα, σελ. 283.

Νταρακάς Ε., 2010. Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, σελ. 109.

Παναγιωτοπούλου Δ., 2011. Εδαφικές και υδρογεωλογικές – υδρολογικές συνθήκες άλσους Τρίτση. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Γενικού τμήματος Γ.Π.Α. Αθήνα, σελ. 166.

Παπαδέας Γ., 1996. Γεωλογική και Γεωθερμική έρευνα στη λεκάνη Σπερχειού Φθιώτιδας. Αθήνα: ΙΓΜΕ.

Παπαδέλης ΧΕ., 2009. Αξιολόγηση της εδαφικής ποιότητα για την αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφών στην περιοχή των Ταγαράδων. Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., Μεταπτυχιακή διατριβή, σελ. 98.

Παπαθεοδώρου Γ., Φερεντίνος Γ. 1994. Εφαρμογή μεθόδων στατιστικής πολυμεταβλητής ανάλυσης σε προβλήματα μόλυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού συνεδρίου, 442–469.

Παπαϊωάννου, Γ. 1995. Εξάτμιση και Διαπνοή. Στο: Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Τσακίρης, 1995, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, pp.167-221.

Παπαστέργιος Γ., 2008. Περιβαλλοντική Γεωχημική μελέτη εδαφών και ιζημάτων σε παράκτιες περιοχές ανατολικά της Καβάλας και κατασκευή γεωχημικών χαρτών με χρήση GIS. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Διδακτορική Διατριβή, σελ. 224.

Παππά Γ., 2001. Υγειονομική σημασία των χημικών παραμέτρων στο πόσιμο νερό, Υπ. Υγείας Πρόνοιας (http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf).

Παρασκευόπουλος Α., Βαβίζος-Ζανάκη, Μπακάλης Ν., 2005. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων οδικού άξονα Λαμία-Μακρυχωρίου. ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ, ΕΥΔΕ-ΟΑΠ, Αθήνα.

Παράσχου Θ., Βουβαλίδης Κ., 2006. Ποσοτική ανάλυση των υδρογραφικών και μορφοτεκτονικών στοιχείων της λεκάνης απορροής του Ίναχου ποταμού της Φθιώτιδας, παραποτάμου του Σπερχειού ποταμού. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Πρακτικά 10ου Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, Τομ. XXXIX, σελ.49-60.

Παυλίδης Θ., Μαρίνος Δ., Μάρης Φ., 2004. Μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά των χειμάρρων της βόρειας Πιερίας. Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Μυτιλήνη.

Παυλόπουλος Α., 2003. Στοιχεία Γεωμορφολογίας. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 79.

Παυλόπουλος Κ., Καρύμπαλης Ε., 2003. Σημειώσεις Εργαστηριακών Ασκήσεων Γεωμορφολογίας. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Γεωγραφίας Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Πεταλωτής Χ., Φυτιάνος Κ., 2004. Βρωμικά ιόντα στο νερό, 3rd European Conference on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the Environment, Χαλκιδική 7-10 Οκτωβρίου.

Πολίτη Δ., 2011. Απομάκρυνση εξασθενούς χρωμίου από βιομηχανικά απόβλητα με χρήση τροποποιημένης βιομάζας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Αθήνα, σελ. 230.

Πολυζόπουλος Ν., 1985. Εισαγωγήν εις την Εδαφολογίαν. Εκδόσεις Σάκουλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 360.

Ράσσιου Α., Χαραλαμπίδη Π., Γερούκη Φ., Ζαμπάρα Στ., Γκίκα Ι., 2003. Μεταλλεία Χρωμίτη Όθρυος - Τεχνικές αξιοποίησης εγκαταλειμμένων δημόσιων μεταλλείων - Πιλοτική εφαρμογή. ΙΓΜΕ, Γ΄ Κοινοτικό πλαίσιο στήριξης (2000-06), Αθήνα σελ. 93.

Σουλάντζος Ν., 2007. Ανθρωπογενείς επιδράσεις στην ποιοτική σύσταση των εδαφών και των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής Οινόφυτα-Αυλώνας της λεκάνης του Ασωπού ποταμού. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωλογικό κι Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον, Γενικό Τμήμα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.107.

Σούλιος Γ. 1975. Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Ξυνιάδος (Φθιώτιδος). Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 99.

Σούλιος Γ., 1986. Γενική Υδρογεωλογία, πρώτος τόμος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Σούλιος Γ., 2006. Γενική Υδρογεωλογία, 1η έκδοση. Τόμος Τέταρτος (Ζ. Ποιότητα υπόγειου νερού, Η. Ρύπανση-Μόλυνση υπόγειου νερού), Θεσσαλονίκη, σελ. 234.

Σούλιος Γ., 2010. Γενική Υδρογεωλογία, 2η έκδοση. Τόμος Πρώτος (Γενική υδρογεωλογία Επιφανειακή υδρολογία: Αποθήκευση και κατανομή του υπόγειου νερού: Οι ροές του υπόγειου νερού), Θεσσαλονίκη, σελ. 374.

Σταμάτης Γ., 2009a. Εισαγωγή στην Υδρογεωλογία. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Σταμάτης Γ., 2009b. Επιβάρυνση των εδαφών και νερών σε βαρέα τοξικά μέταλλα, Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, Μέθοδοι εξυγίανσης επιβαρημένων περιοχών. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Σταυριανού Κ., 2009. Αλλαγές στις χρήσεις γης και στο φυσικό περιβάλλον στη Σάμο κατά τον 20ο αιώνα. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 113.

Στουρνάρας Γ., 2007. Νερό: Περιβαλλοντική Διάσταση και Διαδρομή. Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, σελ. 664.

Συλλαίος Ν., 1981. Σχέση φυσιογραφίας και εδαφών στην λεκάνη Ξυνιάδας (Φθιώτιδα). Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Σφέτσος Κ., 1988. Απογραφή Θερμομεταλλικών πηγών Ελλάδος ΙΙΙ: Ηπειρωτική Ελλάς, Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές έρευνες. ΙΓΜΕ Αθήνα, αρ. 39, σελ. 667.

Τάταρης Α., 1975. Μερικά ερωτήματα επί της ¨Διαδρομής¨ της νεωτέρας (Sh_2) σχιτοκερατολιθικής διαπλάσεως και της σχέσεως Πηλίου – Ολύμπου. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XII/1, 95–112.

Τζιρίτης Ε., Κελεπερτζής Α., Σταματάκης Μ., 2008.Υδρογεωχημικές και Περιβαλλοντικές συνθήκες του καρστικού υδροφόρου συστήματος της περιοχής Αν. Κωπαΐδας- Υλίκης. Πρακτικά 8ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, σελ. 733–742, Αθήνα.

Τζούκα Α., 2007. Συσχέτιση παραμέτρων εννοιολογικών μοντέλων με τα χαρακτηριστικά λεκανών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Αθήνα, σελ. 266.

Τρικκαλινός Ι., 1960. Συμβολή εις την εξερεύνησιν της τεκτονικής δομής της Ελλάδος. Παρατηρήσεις τινές επί των μελετών αίτινες εξετελέσθησαν εσχάτως εις την Αττική, Ανατολική Όθρυν και βόρειον Εύβοιαν. Ann. Geol. Des Pays Hell, XI, 297 – 312.

Τρύφων Α., 2007. Γεωχημική μελέτη αδιατάρακτων εδαφών σε περιοχές του Δ. Μελίτης του Ν. Φλώρινας. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 86.

Τσακίρης Γ., 1995. Υδατικοί πόροι, Ι. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης Γ., 2004. Σημειώσεις Υδατικοί πόροι, Ποιότητα αρδευτικού νερού. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 17, Αθήνα.

Τσαραμπάρης Χ., 2010. Υδρογεωλογικό καθεστώς στον άνω ρου του Ασωπού Ποταμού. Διερεύνηση των ποιοτικών παραγόντων υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Μεταπτυχιακή διατριβή, σελ. 160, Αθήνα.

Τσιούμας Β., Ζόραπας Β., 2010. Υδρογεωλογική μελέτη υδατικού διαμερίσματος Στερεάς Ελλάδας. ΙΓΜΕ, Γ΄ Κοινοτικό πλαίσιο στήριξης (2000-06), Αθήνα σελ. 156.

Τσιούμας Β., Ζόραπας Β., Μανάκος Α., Σταμάτης Γ., Γιόξας Γ., 2008. Επιβάρυνση των υπόγειων νερών σε νιτρικά ιόντα–Λεκάνη Ξυνιάδος (Στερεά Ελλάδα). Πρακτικά 8ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, σελ. 743–750, Αθήνα.

ΥΠΕΚΑ, 2012. Κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών και υδατικών διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας σύμφωνα με την οδηγία 2006/118/ΕΚ κατ' εφαρμογή του Ν. 3199/2003 και του Π.Δ. 51/2007. Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, Τεύχη 12.

Φουμέλης Μ., Βασιλάκης Εμμ., 2004. Αποκλίσεις μεταξύ μεθόδων εκτίμησης των κλίσεων και ο ρόλος της ανάλυσης των ψηφιακών μοντέλων αναγλύφου. Συγκριτική μελέτη σε περιβάλλον GIS. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Πρακτικά 10ου Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, σελ. 10.

Χαμπίδη Π., 2012. Φυσικές και ανθρωπογενείς επιπτώσεις στην ποιότητα των νερών και εδαφών της Ανατολικής Αττικής. Διδακτορική διατριβή, Γ.Π.Α. σελ. 443.

Χαριζόπουλος Ν., 2009. Αλληλεπίδραση εκβολικού συστήματος του Σπερχειού ποταμού και υδατοκαλλιεργειών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, σελ. 146.

Χατζηαποστόλου Α., 2009. Γεωλογικές – εδαφολογικές παράμετροι της αποξηραμένης Λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων. Διδακτορική διατριβή που εκπονήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, σελ. 369.

Ψωμιάδης Μ., 2010. Έρευνα Γεωμορφολογικών και Περιβαλλοντικών Μεταβολών στην Υδρολογική Λεκάνη του Σπερχειού Ποταμού με Χρήση Νέων Τεχνολογιών. Διδακτορική διατριβή, Γ.Π.Α. σελ. 394.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

(ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/tax.pdf)
(http://arhanion.blogspot.gr)
(http://bestrong.org.gr)
(http://chimikoergastirio.blogspot.com)
(http://ec.europa.eu)
(http://el.wikipedia.org)
(http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CF%81%CF%8E%CE%BC%CE%B9%CE%BF)
(http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CF%8E%CE%B4%CE%B9%CE%BF)
(http://em-1.stanford.edu/ICPData/ICP-OES/GCLI/sci/CHAP9-95.pdf)
(http://en.wikipedia.org)
(http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003D0001:EL:HTML)
(http://europa.eu/legislation_summaries/environment/soil_protection/l28181_el.htm)
(http://filotis.itia.ntua.gr)
(http://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/A00010046)
(http://filotis.itia.ntua.gr/biotopes/c/GR1430006)
(http://ga.water.usgs)
(http://geodata.gov.gr/geodata)
(http://makryrrachi.gr)
(http://miliaresis.tripod.com)
(http://postgra.hydro.ntua.gr)
(http://publib.boulder.ibm.com)
(http://www.chem.uoa.gr/courses/organiki_1/oikotoxikologia/oiktx_K05.pdf)
(http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/)
(http://water.epa.gov)
(http://www.arcturos.gr)
(http://www.aua.gr/gpapadopoulos/files/sisxetisi091.pdf)
(http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_cr6.htm)
(http://www.contaminatedland.co.uk/std-guid/dutch-l.htm#KEYWORD-ONE)
(http://www.crystalight.gr)
(http://www.deyap.gr)
(http://www.domokos.gr)
(http://www.domokos.org)
(http://www.ekby.gr)
(http://www.food-info.net)
(http://www.fthiotidoscc.gr)
(http://www.gaiaelliniki.gr)
(http://www.gnu.org/licenses/gpl.html-(θεωρητική τεκμηρίωση) Κοζάνης κ.ά.)

(http://www.greekscapes.gr)
(http://www.larco.gr)
(http://www.melitaia.gr)
(http://www.minenv.gr)
(http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300_03.html)
(http://www.oasp.gr)
(http://www.ornithologiki.gr/page_iba.php?aID=102)
(http://www.prosodol.gr)
(http://www.prosodol.gr/?q=el/node/216)
(http://www.scientific-solutions.ch)
(http://www.stevenswater.com)
(http://www.technicalreview.gr)
(http://www.thermalsprings.gr)
(http://www.xyniada.gr)
(http://www.ypeka.gr)
(www.lenntech.com/heavy-metals.htm)
(www.psych.uoa.gr)
(www.rce.rutgers.edu)
(www.tjclarkinc.com/minerals)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Μετεωρολογικά –Υδρολογικά Δεδομένα

Πίνακας 1. Μηνιαία και ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) του σταθμού Μακρυρράχης για την περίοδο 1995-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1995	38,5	13	92,9	48,8	40,4	68,3	68,3	33,6	68,3	16,4	40,4	120,4	649,3
1996	115,5	100,8	51,5	32,3	45,2	28,7	20,3	53,5	11,3	146	43,8	71,7	720,6
1997	119,5	50,5	77,9	94,9	20,3	15,8	1,4	21,1	17,8	97,4	138,9	146,4	801,9
1998	23,9	77	27,8	13,6	151,5	32,3	2,3	26,6	43,7	48,2	254,2	111,3	812,4
1999	35,2	52,9	48,4	29,6	54,8	0,8	64,5	10,2	64,2	65,9	99,1	83,2	608,8
2000	16,4	97,1	46,8	59,6	21,9	2,5	17,2	0,4	18,5	87,9	50,5	35,6	454,4
2001	83,2	47,9	69,7	69,7	47,2	6,7	81,2	19,5	3,9	7,7	61,5	88,1	586,3
2002	23,3	20,4	169,2	112,2	35,7	0,3	126,8	14,2	89,9	153,4	114,1	254,9	1114,4
2003	175,2	103,1	115,4	63,6	47,4	20,9	8,2	8,8	12,5	103,1	80,6	116,5	855,3
2004	53,7	17	82,9	76,4	55,9	3,1	3,6	0,2	25,1	67,3	34	69,5	488,7
2005	37,1	119,1	77,8	4,7	62	11,4	4,6	2,3	43,5	4,6	78,7	139,6	585,4
2006	67,1	87,7	58,1	65,9	0,5	15	24,1	7,6	87,9	76,3	38,6	23	551,8
2007	5,8	69,7	78,1	36,4	85,9	70,2	0	11,6	32,3	123,3	137,3	45,5	696,1
2008	4,2	15,5	82,9	66,5	23,3	22,1	0	37,4	121,1	68	62,2	26,5	529,7
2009	107,9	35,2	96,4	33,3	29,3	30,9	12,9	9,2	47,5	127,5	73,2	192,7	796
2010	47,4	70,4	46,5	20,9	44,1	34,5	10,8	11,1	103,8	194,5	49,6	22,6	656,2
Μέση Τιμή	59,62	61,08	76,39	51,77	47,84	22,72	27,89	16,71	49,46	86,72	84,79	96,72	**681,71**

Πίνακας 2. Μηνιαία και ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) του σταθμού Σκοπιάς για την περίοδο 1995-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1995	175,3	0	108,5	29	12	22,5	59,7	57	55	17,5	30,6	68,5	635,6
1996	44	54	55,5	10,7	55,5	0	25,5	74,4	21,5	68	28	132,9	570
1997	170,1	8,2	93,4	34	41,4	9,4	2,8	23,6	8,2	65,4	104,4	105	665,9
1998	28,7	58,4	118,3	1,5	113,8	12,6	3,6	13,4	24	17,7	179,4	115,2	657,9
1999	57	71,5	172,8	21,5	22	0	48,5	41,3	84,1	48	84,2	35,5	686,4
2000	48,5	52	60	12,9	18,5	19	4,5	0	31,5	34	27	70,5	378,4
2001	69,5	126,5	8,5	69	41	0	53,5	15	2	5	67	303	760
2002	9,5	20,5	189	90	10	6,5	94	14,5	229,5	37	76	134	910,5
2003	134,5	184,5	57	43	21,5	22,5	0	18,5	28,5	70,5	20	123	723,5
2004	85	55	47	23,5	43,5	21	0	0	11	16,5	30,5	32	365
2005	52	77	41,5	9,5	32	32	38,5	16,5	25	12,5	64,5	100,5	501,5
2006	124	43,5	53,5	49	0	37,5	16,5	0	67,5	128,5	18,5	16,5	555
2007	0	53	38	17	27,5	16,5	0	3,5	52,5	66,5	109	74,5	458
2008	4	64	31	50	6,5	19,5	4,5	10,5	103,5	61	43,5	85	483
2009	83	110	68,5	20	50,5	8,5	13,3	9	43	166	52,5	189	813,3
2010	75,5	60,5	74	14,5	50,5	20,5	91	0	54	158,5	18,5	25,5	643
Μέση Τιμή	72,54	64,91	76,03	30,94	34,14	15,5	28,49	18,58	52,55	60,79	59,6	100,66	**614,73**

Πίνακας 3. Μηνιαία και ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) του σταθμού Τρίλοφο για την περίοδο 1995-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1995	27	16,5	108,5	66,5	28	6,5	43	37	39	15	48	116,5	551,5
1996	70,5	97	56	35,5	40,5	10	11	56,5	16,5	142	29	51	615,5
1997	134	19,5	52	40,5	60	12	6	30	10	49,5	128,5	126	668
1998	22	73	24	10,5	84	4	0	0	37	28	300,5	86	669
1999	25	36	54	44,5	15	1,5	24,5	4,5	32	55,5	110,5	35,5	438,5
2000	8	102,5	32	10,5	14,5	3	43	3	10	144	49	24	443,5
2001	84,5	86,5	59	72,5	23	0	41	23,5	7	0	70	8,5	475,5
2002	2	16	99,5	89	25	1,5	58	43	143	44	112,5	193	826,5
2003	151	29	47,5	52	30	47,5	4,5	12	35	62	92,5	53	616
2004	68	4	51	35,5	53	15,5	2	8,5	18	68,5	24,5	24,5	373
2005	37	78	48	9	78	11	6	16	43	18,5	98	102	544,5
2006	48,5	65	68	78	2	28	12	4	47	59	43,5	34,5	489,5
2007	6,5	103	73,5	24	50	85,5	0	9	14	54,5	122	35	577
2008	10	12	47,5	54	18	15	1,5	7	108,5	93,5	65	46	478
2009	123	43	92	29	37	41	3	6,5	32	163,5	57	196	823
2010	50	54	52	11,5	29	18	26	4	52	198	10,5	15,5	520,5
Μέση Τιμή	54,19	52,19	60,28	41,41	36,69	18,75	17,59	16,53	40,25	74,72	85,06	71,69	**569,34**

Πίνακας 4. Μηνιαία και ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) μετά την συμπλήρωση των κενών, του σταθμού Ομβριακής για την περίοδο 1995-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1995	62	6,5	78	50	29,2	54,09	54,09	29,34	54,09	17,08	34,19	91,24	559,83
1996	87,75	77,26	42,11	28,42	37,62	25,85	19,86	43,54	4,5	92	23	60	541,9
1997	130	57,3	93	71	17	12	13	36,7	7,6	75	117	126	755,6
1998	5	81,3	36	10,7	158,8	22,6	0,2	21,8	34,9	17,9	285,9	89,2	764,3
1999	30,49	43,11	39,9	26,49	44,46	5,96	51,38	3,1	46,5	45,8	77,4	69	483,58
2000	17	73	16	22	18,2	1,4	5,8	0	30,2	75,9	44	30,4	333,9
2001	56,2	59,6	17,6	124,7	27,4	3,5	53,8	68,7	3	6,4	49,24	77,2	547,34
2002	9,5	16,8	190,9	154,7	20,6	2,5	114,5	26	111,1	50,7	105,7	117,4	920,4
2003	137,6	59,1	52	76,8	39,19	17,8	0	51,3	7,6	50,8	40,5	56,2	588,89
2004	56,5	0	20,1	33,6	91,7	4,2	7,95	5,53	23,28	53,38	29,63	54,3	380,17
2005	40,7	81,6	52,8	13,3	45,8	4,9	3,2	108	58	8,4	68,1	131,9	616,7
2006	56,1	43,1	82,9	102,1	0	17,6	40,4	3,2	126,5	92,8	30,2	4,5	599,4
2007	6,5	51,1	25	19,2	24,5	66	0	10,2	20,6	63,2	34,7	22,1	343,1
2008	5,5	16,44	64,5	52,81	22	21,14	5,39	32,05	64,6	48,1	39,8	36,9	409,23
2009	82,33	30,49	74,13	29,13	26,28	27,42	14,58	11,95	39,26	96,3	57,58	95	584,44
2010	18,7	29,4	37,9	5,5	26,4	14,8	6,5	2,4	40,9	138,3	40,75	21,5	383,06
Μέση Τιμή	50,12	45,38	57,68	51,28	39,32	18,86	24,42	28,36	42,04	58,25	67,36	67,68	**550,74**

Πίνακας 5. Μηνιαία και ετήσια τιμή βροχόπτωσης (mm) μετά την συμπλήρωση των κενών και την ομογενοποίηση του σταθμού Ανάβρας για την περίοδο 1995-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1995	137,8	2,1	142,7	32,8	18,8	39,2	34,7	7,5	32,3	9,3	50,1	58,3	565,6
1996	62,7	65,4	77,2	13,1	70,3	0	35,7	70,9	24,5	78,9	27,7	83,1	609,5
1997	196	10	151,2	49,23	42,1	16,3	22,01	40,16	26,72	76,62	110,65	111,17	852,16
1998	44,6	70,52	122,78	20,87	67,1	13	0	0	0	13,8	219,7	120,07	692,44
1999	69,3	81,95	170,33	38,32	38,76	19,57	61,88	55,6	62,2	61	96,6	63,4	818,9
2000	69	96,7	36,9	21,9	17,7	38,5	30,1	0	51,8	94,6	60,3	36	553,5
2001	139,7	81,8	12	163,4	53,7	0	30	152	13	18,5	182,5	205	1051,6
2002	50,5	25,9	208,7	194	37	0	76	9,1	106,8	40,6	103	163	1014,6
2003	138,5	180,54	69,3	57,08	38,32	39,2	19,57	35,71	44,43	81,07	37,01	117,8	858,52
2004	220	67,55	60,57	40,07	57,52	37,89	19,57	19,57	29,16	33,96	19	37	641,85
2005	189,5	162,3	104,5	28	56	24,9	8,7	0	75	49	68,8	98,1	864,8
2006	241	92,7	90,7	120	0	21	23	0	81	195	27,1	18	909,5
2007	18	62,9	27,7	27,7	64	9	0	11,7	75,5	65,4	113,3	95	570,2
2008	23,06	75,4	46,61	63,19	25,24	36,58	23,49	28,73	109,87	72,79	57,52	173	735,46
2009	182	115,54	119	25,2	11,5	11,3	31,17	0	53,3	168,2	68	131,5	916,71
2010	54,5	73,5	20,8	5,3	62,8	61,5	71	0	110,5	145,1	35,71	41,81	682,52
Μέση Τιμή	114,76	79,05	91,31	56,26	41,3	23	30,43	26,93	56	75,24	79,81	97,02	**771,12**

Πίνακας 6. Η Υπολογισμένη με τον «Υδρογνώμων» χρονοσειρά μηνιαίας και ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (mm) της λεκάνης Ξυνιάδας για την περίοδο 1995-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1995	51	10,42	90,99	52,73	31,25	45,21	54,87	32,55	53,75	16,22	39,29	103,83	582,13
1996	89,3	87,39	48,79	30,41	41,23	21,64	18,18	50,43	9,97	117,58	30,18	62,92	608,03
1997	129,83	44,16	79,72	68,58	29,26	13	8,05	30,51	11,24	74,42	124,92	130,36	744,06
1998	15,43	77,16	34,22	11,35	135,61	20,24	0,79	17,17	36,82	28,38	276,38	95,25	748,79
1999	31,63	45,23	50,87	31,69	39,34	3,56	48,35	7,14	48,78	53,73	91,52	63,6	515,45
2000	16,24	86,31	29,53	29,05	18,24	3,13	18,24	0,83	22,46	94,72	46,7	31,21	396,68
2001	71,89	64,77	41,29	96,2	32,35	3,36	57,5	44,43	4,35	5,35	60,11	70,83	552,42
2002	12,06	17,77	162,6	126	25,69	1,71	102,64	26,3	115,55	76,07	108,54	173,55	948,47
2003	150,5	68,53	68,23	65,86	38,62	26,25	3,63	29,14	16,66	68,42	63,22	74,13	673,2
2004	61,82	8,01	45,76	45,35	70,68	7,6	5,32	4,9	22,23	59,42	29,32	50,18	410,58
2005	41,5	91,84	58,81	10,06	57,67	9,1	5,18	52,91	49,79	10,59	77,92	125,01	590,38
2006	61,81	61,13	71,79	85,24	0,62	19,9	28,14	4,44	94,29	82,48	35,26	17,25	562,36
2007	6,33	68,77	51,33	25,03	47,87	69,51	0	10,12	23,78	77,2	86,48	33,95	500,36
2008	6,49	17,2	64,04	56,73	21	20,07	3,26	26,76	91,95	65,04	52,2	39,65	464,39
2009	100,52	38,04	84,86	29,85	29,94	30,84	11,53	9,58	39,93	123,58	61,53	148,35	708,54
2010	35,92	47,8	44,09	11,29	32,91	21,76	15,48	5,02	61,89	168,08	35,07	20,72	500,03
Μέση Τιμή	**55,14**	**52,16**	**64,18**	**48,46**	**40,77**	**19,81**	**23,82**	**22,02**	**43,96**	**70,08**	**76,16**	**77,55**	**594,12**

Πίνακας 7. Η Υπολογισμένη με τον «Υδρογνώμων» χρονοσειρά μηνιαίας και ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (mm) της λεκάνης Σκοπιάς για την περίοδο 1995-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1995	139,55	3,05	123,18	36,95	19,31	35	50,06	32,84	46,92	14,43	41,85	74	617,16
1996	62,9	67,77	65,24	16,35	60,68	4,61	29,19	70,43	21	85,11	29,05	101,49	613,82
1997	179,12	17,13	118,73	48,75	40,7	13,4	12,4	33,31	16,84	74,16	115,15	116,79	786,49
1998	33,35	69,93	106,64	11,86	103,09	14,69	1,56	8,91	17,37	18,5	225,11	116,96	727,97
1999	58,8	72,79	151,83	31,66	33,45	9,16	55,7	41,41	70,02	56,25	93,97	54,45	729,5
2000	52,05	80,03	45,36	19,98	18,74	24,54	18,39	0,18	39,54	74,13	46,33	49,95	469,21
2001	102,02	99,32	16,54	118,51	45,7	0,66	45,92	80,88	7,24	10,95	116,88	222,38	867,02
2002	27,53	22,92	199,12	146,04	24,96	3	91,51	15,6	162,09	46,47	97,31	157,63	994,16
2003	144,19	163,86	65,64	55,79	33	31,28	8,94	29,53	33,76	76,29	36,73	113,78	792,79
2004	140,57	51,93	53,18	35,37	57,61	26,11	9,52	9,47	21,52	33,63	26,45	38,94	504,3
2005	110,09	118,64	73,09	17,99	48,76	25,15	20,1	19,84	52,79	28,14	71,6	108,47	694,63
2006	164,67	69,07	75,75	89,5	0,13	28,21	22,66	0,88	82,19	151,9	26,37	17,66	728,99
2007	9,02	62,44	37,1	23,62	47,36	25,43	0	8,52	57,81	69,76	108,41	76,85	526,33
2008	12,81	61,15	45,6	58,73	17,81	27,59	12,55	22	106,72	68,96	52,65	115,97	602,54
2009	131,6	100,92	95,73	25,04	31,42	14,83	21,01	5,7	48,19	163,71	62,76	161,49	862,39
2010	60,45	64,87	47,68	10,19	53,52	38,58	69,61	0,93	80,59	160,1	29,87	32,33	648,71
Μέση Τιμή	**89,29**	**70,36**	**82,53**	**46,64**	**39,77**	**20,14**	**29,32**	**23,78**	**54,04**	**70,78**	**73,78**	**97,45**	**697,87**

Πίνακας 8. Μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (^{o}C) του σταθμού Μακρυρράχης για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μέση Τιμή
1996	2,8	3,8	3,9	10,8	19,7	23	24,7	24,2	18,4	12,3	10,9	7,4	13,49
1997	5,8	5,4	6,2	8,1	19,2	24,2	25,8	22,8	18,6	12,5	8,9	5,3	13,57
1998	6,1	6,9	5,3	15,1	16,2	23,8	26,5	25,9	19	15,7	8,6	2,5	14,3
1999	5,1	4,2	7,9	13,7	19	24,1	25,3	26,2	20,4	17	9,4	8	15,02
2000	0,8	4,7	8,5	14,4	19,5	23	27,1	25,9	21	14,5	13,7	7,2	15,02
2001	5,5	6,9	14,1	12,6	18,1	24,1	26,8	25,9	22,7	17,6	8,9	0	15,27
2002	4	9,9	10,1	11,8	18,5	24,8	25,6	23,9	19,1	15,7	11,2	5,3	14,99
2003	6,8	-0,1	6,2	10,3	20,4	24,8	26,4	26	19,4	15,9	10,7	4,9	14,31
2004	3	6,4	8,3	12,8	16,2	23,4	25,2	25,6	20,8	17,2	9,6	6,7	14,6
2005	4,1	3	7,4	12,7	19,4	22,1	26,6	25,7	21,3	14,1	8,5	6	14,24
2006	1,4	5,1	8,9	14,2	18,8	22,9	23,8	26,9	19,8	14,5	8,4	5,6	14,19
2007	8,6	6,3	8,9	13,3	19,2	24,6	27,7	27,5	20,6	14,6	9,4	4,2	15,41
2008	4,5	6,1	11,5	14,6	19,2	24,2	26,3	26,8	19,9	15,2	10,4	5,2	15,32
2009	5	4,2	8,5	12	19,1	23,4	26,2	25,1	19,5	15,8	12	8,9	14,98
2010	4,6	7,1	9,5	14	19,9	23,4	25,9	27,7	20,6	13,5	12,1	7,1	15,45
Μέση Τιμή	4,54	5,33	8,35	12,69	18,83	23,72	25,99	25,74	20,07	15,07	10,18	5,62	

Πίνακας 9. Μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (°C) του σταθμού Σκοπιάς για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μέση Τιμή
1996	4,4	5,3	4,9	10,8	20,1	22,8	24,9	24,3	19,7	13	12,4	8,3	14,24
1997	7,1	7,2	7,4	8,6	18,5	23,3	25,9	23	19,4	14,1	10,3	6,4	14,27
1998	7,2	8,2	7,2	14,8	16,8	23,4	26,8	26,4	20,5	16,9	11,1	3,9	15,27
1999	7,1	4,9	10	15,2	19,9	24,7	25,5	26,2	21,5	18,6	11,2	8,8	16,13
2000	2,5	6,2	9,2	14,7	19,3	22,9	27,7	25,5	21,7	15,4	14,3	8,2	15,63
2001	7,1	7,8	15,2	12,1	17,7	22,6	26,5	25,9	22,3	18,1	9,2	0,3	15,4
2002	4,8	10,5	11	11,3	17,1	23,3	25,8	24,5	19,2	17,6	12,3	5,8	15,27
2003	7,5	1,7	7,1	10,6	22,4	24,9	26	26,2	20,7	16,1	11,5	5,4	15,01
2004	3	6,6	10	13,6	15,8	20,1	25,2	26,6	21,5	20	11,3	8,8	15,21
2005	6,1	3,1	9,1	13,2	17,7	22,5	25,6	26,5	22,2	13,4	9	6,6	14,58
2006	1,7	5,2	9,7	13,1	17,6	21,3	23,7	27,2	20,1	15,2	9,5	6,2	14,21
2007	9,7	7,1	9,5	12,4	19,1	24,9	27,3	26,8	20,9	15,3	9,9	5,4	15,69
2008	5	6,6	12	14,1	19,3	24,5	27,9	27,4	20	15,4	11	6,3	15,79
2009	6	4,9	8,7	12,4	19	23,9	25,7	25,2	20,6	17,1	11,8	9,5	15,4
2010	6,1	8,4	9,5	14,4	19,1	23,5	24,8	27,5	21,5	14	14,6	8	15,95
Μέση Τιμή	5,69	6,25	9,37	12,75	18,63	23,24	25,95	25,95	20,79	16,01	11,29	6,53	

Πίνακας 10. Μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία (°C) του σταθμού Λουτροπηγής για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μέση Τιμή
1996	3,3	4	3,6	10,3	19,3	22,8	24,2	23,2	17,7	11,5	11,1	7,4	13,2
1997	7	6	6,5	7,4	18,5	23,4	24,7	21,7	17,6	12,1	8,1	4,8	13,15
1998	5,6	6,8	4,9	13,7	14,9	22,2	25,7	24,6	17,9	15	8,2	2,3	13,48
1999	5,1	3,3	7,1	12,2	17,7	22,6	24,1	24,9	18,9	15,8	9,1	9,7	14,21
2000	0,6	4,5	7,2	13,4	18,2	22,2	25,4	24	19,1	12,8	12,7	7	13,93
2001	4,3	5,3	12,8	10,8	15,9	22,3	24,5	24,1	20,2	15,5	8,5	0,3	13,71
2002	3,1	7,7	8,4	9,7	15,5	22,2	23,9	22,4	17,8	14,4	10,6	4,3	13,33
2003	6	0,8	4,9	9,6	18,9	23,4	24,8	24,7	18,4	15,2	9,7	3,4	13,32
2004	2,6	5,1	6,9	10,9	14,5	21,3	23,5	24,3	19,7	17	9,6	6,4	13,48
2005	4,2	2,5	7,6	7,6	17,7	20,3	24,6	23,7	19,3	12,5	7,6	1,6	12,43
2006	1,2	2,5	7,6	12,2	17,1	20,9	22,2	25,2	18,2	13,9	8,5	5,3	12,9
2007	7,8	5,2	7,7	11,2	17,5	24,1	26,2	25	18,9	13,6	8,4	3,5	14,09
2008	3,3	5,1	10,3	12,6	17,2	22,7	25,6	25,5	18,5	14	9,7	4,9	14,12
2009	4,1	3	6,8	11	18,3	21,2	24,2	22,6	17,2	13,7	10,7	8	13,4
2010	3,5	5,9	7,8	11,8	17,4	21,1	23,3	25,4	18,2	11,4	12,6	6,8	13,77
Μέση Τιμή	4,11	4,51	7,34	10,96	17,24	22,18	24,46	24,09	18,51	13,89	9,67	5,05	

Πίνακας 11. Η Υπολογισμένη με τον «Υδρογνώμων» χρονοσειρά της μέσης μηνιαίας και μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (°C) της λεκάνης Ξυνιάδας για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	3,08	4,04	4,01	10,94	20,08	23,43	25,15	24,54	18,77	12,48	11,29	7,63	13,79
1997	6,24	5,77	6,48	8,19	19,42	24,49	26,16	23,1	18,88	12,83	9,07	5,42	13,84
1998	6,23	7,14	5,5	15,15	16,36	23,99	26,94	26,26	19,33	16,01	8,92	2,63	14,54
1999	5,37	4,19	8,1	13,85	19,25	24,4	25,64	26,52	20,66	17,28	9,7	8,53	15,29
2000	0,92	4,89	8,51	14,55	19,67	23,34	27,42	26,08	21,17	14,58	13,86	7,4	15,2
2001	5,54	6,84	14,26	12,51	18,06	24,17	26,94	26,13	22,71	17,65	9,04	0,08	15,33
2002	3,99	9,78	10,09	11,64	18,25	24,74	25,86	24,19	19,28	15,96	11,42	5,28	15,04
2003	6,86	0,2	6,18	10,42	20,74	25,09	26,64	26,34	19,74	16,13	10,82	4,78	14,5
2004	2,99	6,33	8,37	12,81	16,21	23,25	25,43	26	21,1	17,76	9,94	6,96	14,76
2005	4,37	2,98	7,73	12,12	19,37	22,29	26,73	25,96	21,48	14,06	8,56	5,41	14,26
2006	1,42	4,76	8,93	14,06	18,8	22,9	24,01	27,19	19,96	14,76	8,69	5,72	14,27
2007	8,73	6,31	8,93	13,14	19,3	25,05	27,99	27,58	20,76	14,79	9,47	4,27	15,53
2008	4,43	6,1	11,58	14,52	19,26	24,47	26,86	27,19	20,08	15,33	10,55	5,35	15,48
2009	5,03	4,14	8,4	12,11	19,35	23,55	26,36	25,2	19,6	15,88	12,01	8,98	15,05
2010	4,63	7,15	9,4	13,95	19,82	23,5	25,9	27,87	20,69	13,46	12,65	7,27	15,52
Μέση Τιμή	4,66	5,37	8,43	12,66	18,93	23,91	26,27	26,01	20,28	15,26	10,4	5,71	**14,8**

Πίνακας 12. Η Υπολογισμένη με τον «Υδρογνώμων» χρονοσειρά της μέσης μηνιαίας και μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (°C) της λεκάνης Σκοπιάς για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	4,13	5,01	4,66	10,57	19,65	22,38	24,38	23,78	19,13	12,63	11,98	8,03	13,86
1997	6,85	6,86	7,12	8,34	18,21	22,94	25,34	22,49	18,88	13,61	9,89	6,11	13,89
1998	6,9	7,87	6,8	14,49	16,34	22,93	26,22	25,77	19,87	16,39	10,55	3,64	14,81
1999	6,71	4,67	9,5	14,65	19,35	24,08	24,93	25,64	20,88	17,98	10,74	8,61	15,65
2000	2,22	5,88	8,87	14,34	18,9	22,44	27,02	24,98	21,11	14,91	13,9	7,91	15,21
2001	6,7	7,46	14,71	11,85	17,31	22,28	25,93	25,32	21,81	17,59	8,97	0,27	15,02
2002	4,56	10,12	10,6	11,05	16,82	22,93	25,21	23,89	18,76	16,96	11,9	5,58	14,86
2003	7,23	1,48	6,79	10,33	21,65	24,35	25,48	25,62	20,09	15,74	11,13	5,16	14,59
2004	2,92	6,39	9,53	13,15	15,47	20,05	24,64	25,91	20,95	19,25	10,87	8,35	14,79
2005	5,73	3,01	8,72	12,65	17,51	21,94	25,15	25,8	21,57	13,16	8,72	6,19	14,18
2006	1,62	4,97	9,35	12,9	17,34	21,01	23,19	26,57	19,61	14,79	9,18	5,99	13,88
2007	9,34	6,81	9,19	12,18	18,67	24,36	26,76	26,27	20,39	14,87	9,6	5,11	15,3
2008	4,78	6,36	11,65	13,8	18,83	23,93	27,13	26,74	19,54	15,03	10,68	6,02	15,38
2009	5,72	4,66	8,43	12,07	18,62	23,28	25,18	24,59	19,96	16,51	11,54	9,2	14,98
2010	5,74	8,02	9,24	13,97	18,73	22,93	24,35	26,9	20,86	13,57	14,02	7,72	15,5
Μέση Τιμή	5,41	5,97	9,01	12,42	18,23	22,79	25,39	25,35	20,23	15,53	10,91	6,26	**14,8**

Πίνακας 13. Η Υπολογισμένη με τον «Υδρογνώμων» χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm) της λεκάνης Ξυνιάδας για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	3,72	5,87	6,95	36,92	108,66	140,03	159,22	143,02	81,76	39,47	29,22	15,29	770,13
1997	11,41	9,99	14,85	23,23	102,86	150,19	169,75	130,29	82,82	41,4	20,67	8,87	766,34
1998	11,4	14,01	11,44	61,75	78,33	145,29	177,91	159,7	85,97	58,88	20,15	2,82	827,66
1999	9	6,01	21,17	53,57	101,4	149,24	164,43	162,27	95,54	66,5	23,01	18,27	870,39
2000	0,55	7,96	22,97	58,12	105,15	139,12	182,73	157,53	98,96	50,58	40,5	14,57	878,73
2001	9,45	13,11	52	45,55	91,66	147,03	177,86	158,46	111,04	68,74	20,59	0,01	895,51
2002	5,62	23,11	30,01	40,63	93,17	152,64	166,67	140,17	85,62	58,61	29,86	8,52	834,62
2003	13,28	0,05	13,76	34,06	114,13	156,01	174,77	160,45	88,88	59,58	27,38	7,29	849,64
2004	3,55	11,98	22,39	47,43	77,34	138,31	162,1	156,71	98,48	69,19	23,88	13,23	824,57
2005	6,48	3,5	19,65	43,33	102,41	129,24	175,66	156,81	101,6	47,9	18,89	8,86	814,33
2006	1,08	7,37	24,7	54,84	97,66	134,95	148,16	168,83	90,47	51,74	19,32	9,67	808,78
2007	19,49	11,52	24,7	49,25	101,82	155,7	189	172,7	96,3	51,92	22,15	6,07	900,61
2008	6,62	11,3	37,45	57,89	101,75	150,05	176,83	168,29	91,01	54,74	26,22	8,69	890,85
2009	8,11	5,89	22,41	43,27	102,28	141,11	171,84	149,59	87,88	58,1	32,33	19,83	842,65
2010	7,11	14,05	26,82	54,14	106,2	140,62	167,09	175,5	95,77	44,69	35,12	14,18	881,29
Μέση Τιμή	7,8	9,7	23,4	46,9	99,0	144,6	170,9	157,4	92,8	54,8	26,0	10,4	**843,7**

Πίνακας 14. Η Υπολογισμένη με τον «Υδρογνώμων» χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm) της λεκάνης Σκοπιάς για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	6,14	8,55	9,13	35,62	105,76	130,85	152,04	136,53	84,86	40,83	32,63	16,96	759,9
1997	13,6	13,5	17,67	24,46	93,62	135,91	161,85	125,4	83,46	46,1	24,2	11,07	750,86
1998	13,74	16,77	16,45	58,3	79,01	135,88	170,68	155,39	90,4	61,77	26,79	4,89	830,06
1999	13,15	7,39	27,83	59,28	102,99	146,74	157,76	154,14	97,76	71,47	27,57	18,95	885,02
2000	2,32	10,98	25,09	57,49	99,49	131,38	178,71	147,51	99,1	53,04	41,24	16,57	862,92
2001	13,14	15,42	55,3	42,5	86,51	129,86	167,77	151,16	104,71	69,05	20,76	0,08	856,25
2002	7,18	24,9	33,03	38,08	82,65	135,86	160,46	137,89	82,64	65,17	32,37	9,59	809,82
2003	14,8	1,21	16,41	34,23	122,88	149,29	163,26	153,9	92,03	57,94	29,16	8,49	843,59
2004	3,57	12,51	28,04	50,2	72,66	110,05	154,65	156,19	97,93	79,22	27,99	18,04	811,04
2005	10,27	3,69	24,3	47,07	88,02	126,72	159,92	155,64	102,88	43,76	19,88	11,3	793,45
2006	1,41	8,14	27,14	48,56	86,73	118,41	140,76	162,96	88,55	52,57	21,55	10,72	767,49
2007	22,12	13,36	26,39	44,38	97,41	149,44	176,33	160,08	94,15	53,02	23,11	8,35	868,14
2008	7,74	12,44	38,49	54,18	98,91	145,3	179,88	164,19	87,79	53,68	27,25	10,81	880,64
2009	10,23	7,36	23,06	43,71	96,94	139,12	160,25	144,35	91,08	62,48	30,87	21,04	830,48
2010	10,3	17,26	26,64	55,04	97,85	135,89	152	166,16	97,64	45,92	41,91	15,96	862,58
Μέση Τιμή	10,0	11,6	26,3	46,2	94,1	134,7	162,4	151,4	93,0	57,1	28,5	12,2	**827,5**

Πίνακας 15. Η Υπολογισμένη με το αδρομερές μοντέλο «Ζυγός» χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας απορροής (mm) της λεκάνης Ξυνιάδας για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	9,32	34,15	43,55	23,23	3,99	0,25	0	0,01	0	0,78	0,01	0,91	116,2
1997	46,24	51,87	49,64	48,18	13,68	0,76	0	0	0	0,33	4,46	62,3	277,47
1998	41,31	38,12	34,82	9,49	12,96	4,24	0	0	0	0	76,98	81,88	299,81
1999	47,82	36,48	31,56	12,61	2,88	0,07	0	0	0	0,01	0,69	0,48	132,6
2000	1,61	26,84	29,1	7,74	1,6	0	0	0	0	0,44	0,06	0,17	67,57
2001	1,06	14,97	15,1	20	8,4	0,6	0,01	0	0	0	0,4	0,71	61,23
2002	0,06	0	39,02	79,79	22,92	1,16	0,01	0	0,3	0,17	2,77	102,59	248,79
2003	131,63	63,88	58,43	45,18	11,09	0,64	0	0	0	0,09	0,36	0,67	311,96
2004	14,17	14,51	12,39	7,54	4,41	0,86	0	0	0	0,01	0,05	0,37	54,31
2005	0,35	10,18	26,1	13,55	3,09	0,21	0	0,01	0	0	0,59	13,62	67,7
2006	40,9	49,92	46,61	37,93	7,82	0,27	0	0	0,04	0,31	0,16	0,08	184,03
2007	0	0,57	0,73	2,37	1,75	0,02	0	0	0	0,25	0,64	0,28	6,62
2008	0	2,18	5,19	5,03	1,9	0	0	0	0,01	0,1	0,26	0,31	14,98
2009	8,38	22,29	39,03	23,72	3,64	0,19	0	0	0	0,65	0,29	29,46	127,67
2010	49,99	36,8	26,22	7,3	1,43	0	0	0	0,01	2,64	3,72	1,78	129,88
Μέση Τιμή	26,2	26,9	30,5	22,9	6,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,4	6,1	19,7	**140,1**

Πίνακας 16. Η Υπολογισμένη με το αδρομερές μοντέλο «Ζυγός» χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (mm) της λεκάνης Ξυνιάδας για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	3,72	5,87	6,95	34,94	74,18	52,85	34,31	54,95	12,12	39,47	29,22	15,29	363,87
1997	11,41	9,99	14,85	23,23	75,34	55,64	27,6	35,36	13,2	41,4	20,67	8,87	337,57
1998	11,4	14,01	11,44	41,08	78,33	79,39	33,5	26,46	38,18	28,9	20,15	2,82	385,67
1999	9	6,01	21,17	45,38	66,57	36,53	59,14	13,53	49,32	53,45	23,01	18,27	401,39
2000	0,55	7,96	22,97	45,78	50,92	28,01	29,82	4,89	23,18	50,58	40,5	14,57	319,72
2001	9,45	13,11	48,13	45,55	66,22	45,81	72,11	50,8	7,43	6,33	20,59	0,01	385,54
2002	5,62	20,41	30,01	40,63	73,73	53,13	112,26	36,52	85,62	58,61	29,86	8,52	554,91
2003	13,28	0,05	13,76	34,06	83,67	65,34	23,83	34,75	18,16	59,58	27,38	7,29	381,16
2004	3,55	10,64	22,39	46,39	73,76	49,64	25,58	12,22	23,75	59,01	23,88	13,23	364,03
2005	6,48	3,5	19,65	31,23	77,55	40,19	22,96	56,9	50,69	11,22	18,89	8,86	348,13
2006	1,08	7,37	24,7	54,84	53,75	50,78	42,93	12,87	90,47	51,74	19,32	9,67	419,5
2007	9,65	11,52	24,7	37,72	68,2	89,13	19,1	15,43	24,68	51,92	22,15	6,07	380,26
2008	6,53	11,3	37,45	57,11	52,62	45,61	16,56	30,52	91,01	54,74	26,22	8,69	438,36
2009	8,11	5,89	22,41	39,34	64,49	59,28	29,23	15,44	40,64	58,1	32,33	19,83	395,1
2010	7,11	14,05	26,82	35,53	59,61	44,69	27,86	10,14	61,84	44,69	34,96	14,18	381,49
Μέση Τιμή	7,1	9,4	23,2	40,9	67,9	53,1	38,5	27,4	42,0	44,7	25,9	10,4	**390,5**

Πίνακας 17. Η Υπολογισμένη με το αδρομερές μοντέλο Ζυγός χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας κατείσδυσης (mm) της λεκάνης Ξυνιάδας για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	8,36	14,92	16,2	13,6	9,38	4,98	2,16	1,02	0,6	4,97	8,08	10,03	94,3
1997	16,37	17,3	16,97	16,81	11,87	5,83	2,25	0,97	0,55	2,33	9,57	17,56	118,39
1998	15,96	15,46	15,09	11,29	11,94	8,89	3,42	1,24	0,67	0,51	13,44	18,9	116,79
1999	16,79	15,28	14,65	12,14	8,45	4,23	1,82	0,77	0,42	0,37	4,31	9,62	88,85
2000	11,52	14,5	14,36	11,16	7,16	3,43	1,33	0,48	0,23	2,74	4,83	5,57	77,3
2001	9,36	13,48	12,56	13,11	10,93	5,52	2,36	1,12	0,55	0,31	2,53	8,17	80
2002	10,93	9,92	15,33	18,9	13,44	6,35	3,13	1,73	2,88	4,96	9,76	17,83	115,15
2003	18,9	18,83	18,14	16,43	11,34	5,67	2,19	0,84	0,44	0,84	3,24	8,41	105,27
2004	13,35	12,88	12,15	11,44	9,98	6,04	2,41	0,9	0,43	0,35	0,65	2,97	73,54
2005	6,38	12,16	15,04	12,21	8,67	4,88	1,94	0,82	0,51	0,38	3,74	12,41	79,11
2006	16,87	17,02	16,6	15,48	10,33	5,08	2,35	0,96	0,76	2,64	4,69	5,37	98,15
2007	4,95	7,61	10,96	10,21	7,32	4,44	1,86	0,62	0,3	1,69	6,4	10,29	66,65
2008	10,48	9,72	10,52	10,61	7,47	3,71	1,42	0,53	0,39	0,99	2,86	5,54	64,23
2009	11,54	14,55	15,59	13,66	9,14	4,9	2,06	0,79	0,44	4,16	8,41	15,25	100,49
2010	17,06	15,33	13,97	10,87	6,99	3,65	1,54	0,56	0,32	7,42	11,85	10,91	100,48
Μέση Τιμή	12,6	13,9	14,5	13,2	9,6	5,2	2,2	0,9	0,6	2,3	6,3	10,6	**91,9**

Πίνακας 18. Η Υπολογισμένη με το αδρομερές μοντέλο «Ζυγός» χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας απορροής (mm) της λεκάνης Σκοπιάς για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	1,46	4,9	7,95	7,55	5,58	2,86	0,9	0,31	0,04	1,83	2,45	5,99	41,81
1997	53,76	13,41	61,15	14,37	11,27	6,14	2,29	0,68	0,09	1,13	5,68	11,57	181,55
1998	12,97	14,05	73,43	11,74	10,17	6,68	2,37	0,35	0,02	0,02	8,63	67,88	208,31
1999	30,01	49,74	108,35	12,36	8,33	4,04	1,64	0,52	0,26	0,35	3,35	5,79	224,74
2000	7,96	11,03	11,81	9,59	6,05	3,02	0,87	0,01	0,04	0,44	0,85	2,3	53,97
2001	6,71	11,41	10,39	11,68	10,45	5,71	2,35	1,15	0,33	0,01	4,09	89,08	153,37
2002	14,19	12,61	113,54	92,31	11,42	5,96	3,06	1,34	4,24	5,03	7,13	45,35	316,17
2003	113,74	147	33,58	14,25	10,11	5,06	1,78	0,29	0,03	0,55	1,09	5,91	333,38
2004	30,77	23,77	14,41	12,48	10,07	6,68	2,93	0,67	0,02	0,03	0,03	0,66	102,54
2005	5,53	12,05	24,39	12,29	8,98	5,32	2,17	0,44	0,05	0,03	2,26	7,42	80,94
2006	73,48	45,29	32,95	25,29	10,58	5,77	2,68	0,6	0,24	4,86	6,32	5,82	213,87
2007	4,93	6,34	6,89	5,81	4,18	2,08	0,31	0,01	0,06	0,29	4,33	8,55	43,79
2008	8,94	10,04	9,93	8,92	6,22	3,02	0,77	0,02	0,4	1,25	2,48	7,46	59,46
2009	34,98	77,91	57,02	12,64	8,8	4,52	1,61	0,19	0,05	4,4	7,23	29,69	239,05
2010	34,51	31,96	14,22	11,29	7,84	4,64	2,46	0,67	0,23	5,51	6,8	6,42	126,56
Μέση Τιμή	28,9	31,4	38,7	17,5	8,7	4,8	1,9	0,5	0,4	1,7	4,2	20,0	**158,7**

Πίνακας 19. Η Υπολογισμένη με το αδρομερές μοντέλο «Ζυγός» χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (mm) της λεκάνης Σκοπιάς για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	6,14	8,55	9,13	26,64	77,35	39,32	44,93	71,1	24,64	40,83	27,72	16,96	393,32
1997	13,6	13,5	17,67	24,46	82,91	72,88	47,59	42,66	21,52	46,1	24,2	11,07	418,17
1998	13,74	16,77	16,45	50,8	79,01	77,78	43,47	24,56	20,69	19,13	26,79	4,89	394,07
1999	13,15	7,39	27,83	55,5	75,71	57,47	71,03	51,6	66,56	52,88	27,57	18,95	525,65
2000	2,32	10,98	25,09	45,75	56,55	53,34	40,62	10,58	38,7	53,04	41,24	16,57	394,78
2001	13,14	15,42	45,37	42,5	75,5	60,64	71,92	85,32	17,47	14,36	20,76	0,08	462,46
2002	7,18	24,42	33,03	38,08	72,04	66,78	104,42	36,07	82,64	51,33	32,37	9,59	557,94
2003	14,8	1,21	16,41	34,23	99,04	78,92	40,42	40,22	35,09	57,94	29,16	8,49	455,92
2004	3,57	12,51	28,04	48,04	66,99	68,64	49,99	28,54	25,68	33,55	24,09	18,04	407,69
2005	10,27	3,69	24,3	43,19	73,13	67,93	51,04	34,23	52,22	26,85	19,88	11,3	418,02
2006	1,41	8,14	27,14	48,56	67,27	68,45	52,25	22,07	75,41	52,57	21,55	10,72	455,54
2007	13,76	13,36	26,39	31,87	62,11	51,41	19,11	15,25	53,86	53,02	23,11	8,35	371,61
2008	7,74	12,44	38,49	53,72	56,8	59,35	35,32	30,03	87,79	53,68	27,25	10,81	473,41
2009	10,23	7,36	23,06	41,46	73,29	61,87	46,62	18,94	46,78	62,48	30,87	21,04	443,99
2010	10,3	17,26	26,64	46,47	77,48	74,18	84,6	23,38	75,01	45,92	34,71	15,96	531,9
Μέση Τιμή	9,4	11,5	25,7	42,1	73,0	63,9	53,6	35,6	48,3	44,3	27,4	12,2	**447,0**

Πίνακας 20. Η Υπολογισμένη με το αδρομερές μοντέλο Ζυγός χρονοσειρά της μηνιαίας και ετήσιας κατείσδυσης (mm) της λεκάνης Σκοπιάς για την περίοδο 1996-2010.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1996	2,1	5,68	8,74	8,89	6,88	4,23	2,27	1,63	1,35	2,77	3,8	6,5	54,85
1997	13,6	14,68	15,44	15,43	12,55	7,48	3,67	2,04	1,44	2,24	6,14	11,84	106,55
1998	14,09	14,82	15,65	13,05	11,26	8,02	3,75	1,71	1,05	0,86	8	15,39	107,65
1999	15,65	15,65	15,65	13,64	9,64	5,4	2,97	1,88	1,59	1,69	4,07	6,8	94,63
2000	8,81	11,66	12,92	10,9	7,38	4,38	2,25	1,08	0,76	1,52	2,19	3,35	67,21
2001	7,18	11,9	11,7	12,24	11,73	7,07	3,69	2,47	1,72	1,18	4,51	13,54	88,92
2002	15,29	13,89	15,42	15,65	12,72	7,32	4,35	2,72	4,82	6,34	7,83	13,7	120,05
2003	15,65	15,65	15,65	15,33	11,41	6,39	3,16	1,64	1,19	1,74	2,4	6,22	96,43
2004	13,29	15,65	15,46	13,76	11,34	8,01	4,3	2,06	1,24	1,05	1,07	1,83	89,05
2005	5,9	12,22	15,53	13,59	10,27	6,66	3,53	1,81	1,32	1,3	3,13	7,81	83,08
2006	14,45	15,65	15,65	15,65	11,9	7,1	4,04	1,99	1,55	5,24	7,63	7,11	107,97
2007	6,29	7,21	8,14	7,15	5,51	3,44	1,64	0,76	0,68	1,37	4,85	9,21	56,25
2008	10,22	10,89	11,19	10,2	7,56	4,37	2,16	1,08	1,5	2,49	3,61	7,77	73,04
2009	13,98	15,65	15,65	13,92	10,11	5,88	2,98	1,51	1,11	4,77	8,26	13,12	106,94
2010	15,65	15,65	15,31	12,6	9,14	5,97	3,78	2,07	1,55	5,74	8,13	7,62	103,19
Μέση Τιμή	11,5	13,1	13,9	12,8	10,0	6,1	3,2	1,8	1,5	2,7	5,0	8,8	**90,4**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ
Γεωχημικά και Υδροχημικά Δεδομένα

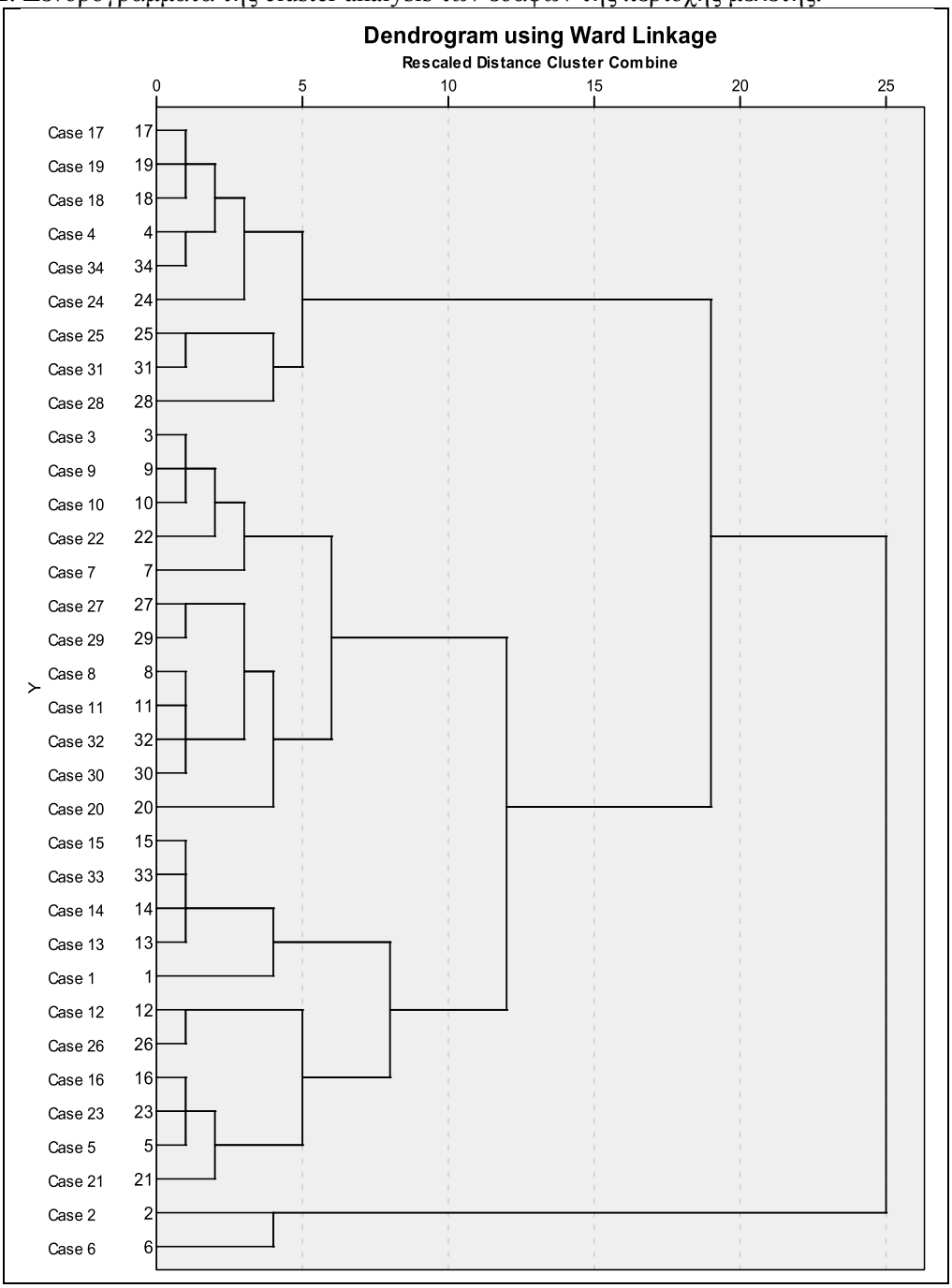
Πίνακας 1. Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των σημείων εδαφοληψίας (ΕΓΣΑ ’87).

Δείγμα	X	Ψ	Z(m)	Δείγμα	X	Ψ	Z(m)
1	353030	4329559	567 m	**18**	362339	4322551	454 m
2	343663	4325128	488 m	**19**	362242	4326243	429 m
3	345394	4328564	496 m	**20**	364442	4333173	375 m
4	363597	4322397	557 m	**21**	365679	4337558	461 m
5	366179	4334288	426 m	**22**	357117	4321152	514 m
6	341054	4327294	502 m	**23**	353311	4323255	469 m
7	350743	4322629	458 m	**24**	352530	4327556	489 m
8	349512	4323657	454 m	**25**	356754	4330968	462 m
9	350718	4324129	456 m	**26**	359985	4328073	445 m
10	350328	4325590	454 m	**27**	357312	4327460	485 m
11	348745	4324603	454 m	**28**	357214	4327677	502 m
12	349109	4325861	455 m	**29**	356081	4325477	473 m
13	347455	4326969	453 m	**30**	356929	4324392	492 m
14	346655	4326050	454 m	**31**	358832	4326071	463 m
15	346141	4326960	453 m	**32**	363477	4329695	395 m
16	347525	4327847	458 m	**33**	366559	4325754	442 m
17	353656	4325029	461 m	**34**	365025	4323295	481 m

Πίνακας 2. Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα εδάφη της περιοχής μελέτης.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		**,508**
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	79,261
	df	28
	Sig.	**,000**

Σχήμα 1. Δενδρογράμματα της cluster analysis των εδαφών της περιοχής μελέτης.



Πίνακας 3. Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των σημείων υδροληψίας (ΕΓΣΑ ’87).

Δείγμα	X	Ψ	Z(m)	Δείγμα	X	Ψ	Z(m)	Δείγμα	X	Ψ	Z(m)
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΥΓΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ								**ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ**			
Γ1(α)	355226	4330636	476	**Γ35(α)**	356612	4325624	473	**Γ7(β)**	342401	4327262	476
Γ2(α)	355653	4330542	486	**Γ36(α)**	356855	4324139	487	**Γ8(β)**	345550	4327447	463
Γ3(α)	353926	4329920	515	**Γ37(α)**	358368	4321294	525	**Γ9(β)**	345854	4326580	457
Γ4(α)	350975	4328176	498	**Γ38(α)**	358458	4322514	511	**Γ10(β)**	346779	4325762	456
Γ5(α)	345932	4328265	462	**Γ39(α)**	358748	4326134	466	**Γ11(β)**	348544	4326502	455
Γ6(α)	339419	4327356	604	**Γ40(α)**	358010	4330538	448	**Γ22(β)**	349740	4323865	450
Γ7(α)	342401	4327262	476	**Γ41(α)**	358499	4329822	454	**Γ20(β)**	349674	4323595	453
Γ8(α)	345550	4327447	463	**Γ42(α)**	359834	4327179	443	**Γ21(β)**	349281	4323612	452
Γ9(α)	345854	4326580	457	**Γ43(α)**	361634	4328281	405	**Γ18(β)**	349975	4322950	448
Γ10(α)	346779	4325762	456	**Γ44(α)**	362971	4327248	423	**Γ30(β)**	353820	4323650	470
Γ11(α)	348544	4326502	455	**Γ45(α)**	361452	4325945	445	**Γ26(β)**	353473	4327429	488
Γ12(α)	348989	4326636	456	**Γ46(α)**	363625	4325846	440	**Γ34(β)**	355839	4327006	479
Γ13(α)	349178	4326302	460	**Γ47(α)**	363155	4325258	454	**Γ36(β)**	356855	4324139	487
Γ14(α)	346912	4323596	450	**Γ48(α)**	364662	4324559	463	**Γ37(β)**	358368	4321294	525
Γ15(α)	346681	4323545	458	**Γ49(α)**	364073	4323923	474	**Γ40(β)**	358010	4330538	448
Γ16(α)	347044	4322113	473	**Γ50(α)**	362990	4322370	567	**Γ43(β)**	361634	4328281	405
Γ17(α)	348361	4322458	457	**Γ51(α)**	367810	4325194	463	**Γ45(β)**	361452	4325945	445
Γ18(α)	349975	4322950	448	**Γ52(α)**	367155	4325650	449	**Γ49(β)**	364073	4323923	474
Γ19(α)	350002	4323278	451	**Γ53(α)**	367723	4326744	494	**Γ53(β)**	367723	4326744	494
Γ20(α)	349674	4323595	453	**Γ54(α)**	366535	4329904	437	**Γ57(β)**	364562	4331973	371
Γ21(α)	349281	4323612	452	**Γ55(α)**	365246	4329079	419	**Γ59(β)**	365454	4336487	437
Γ22(α)	349740	4323865	450	**Γ56(α)**	363728	4329886	382	**ΠΗΓΕΣ**			
Γ23(α)	350098	4324980	449	**Γ57(α)**	364562	4331973	371	**Π1**	350975	4328209	503
Γ24(α)	350764	4326082	454	**Γ58(α)**	365032	4333133	368	**Π2**	340093	4327780	555
Γ25(α)	351694	4326961	469	**Γ59(α)**	365454	4336487	437	**Π3**	342775	4321976	534
Γ26(α)	353473	4327429	488	**ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ**				**Π4**	348739	4320639	474
Γ27(α)	351426	4324813	455	**Ε1**	342345	4329923	445	**Π5**	354181	4322615	484
Γ28(α)	352206	4324495	462	**Ε2**	364131	4332281	350	**Π6**	360502	4321095	588
Γ29(α)	353120	4323644	468	**Ε3**	369437	4334891	312	**Π7**	372234	4321211	722
Γ30(α)	353820	4323650	470					**Π8**	375280	4325113	775
Γ31(α)	355001	4322919	478					**Π9**	370313	4331953	467
Γ32(α)	355366	4323348	477					**Π10**	365307	4331113	409
Γ33(α)	355628	4323889	478					**Π11**	366166	4333073	356
Γ34(α)	355839	4327006	479					**Π12**	367734	4335066	433

Πίνακας 4. Συντελεστές συσχέτισης των υδροχημικών δεδομένων για τα δείγματα των πηγών.

	Ca	Mg	Na	K	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	NH_4^+	F	Br	I	Fe	Mn	Zn	Cr	Ni
Ca	1,00																	
Mg	-0,59	1,00																
Na	**0,84**	-0,27	1,00															
K	0,25	-0,23	0,13	1,00														
HCO_3^-	0,03	**0,64**	0,14	-0,12	1,00													
Cl	**0,81**	-0,13	**0,91**	0,21	0,28	1,00												
SO_4^{2-}	**0,77**	-0,11	**0,94**	0,12	0,15	**0,92**	1,00											
NO_3^-	**0,68**	0,00	**0,73**	0,04	0,17	**0,78**	**0,86**	1,00										
PO_4^{3-}	-0,35	**0,62**	-0,38	0,03	0,52	-0,17	-0,22	-0,08	1,00									
NH_4^+	0,43	0,23	0,56	0,24	0,46	**0,75**	**0,63**	0,48	0,29	1,00								
F	**0,64**	-0,28	**0,79**	0,04	0,06	**0,65**	**0,69**	0,53	**-0,63**	0,26	1,00							
Br	0,13	-0,23	0,12	-0,25	-0,06	0,03	-0,09	0,01	-0,46	-0,13	0,12	1,00						
I	0,06	-0,20	0,01	-0,26	0,00	-0,03	-0,20	-0,08	-0,36	-0,14	0,04	**0,98**	1,00					
Fe	-0,28	-0,06	-0,15	-0,10	-0,37	-0,13	-0,10	-0,23	-0,30	-0,36	0,02	-0,15	-0,11	1,00				
Mn	0,32	-0,25	0,02	-0,07	0,22	0,08	-0,07	0,13	0,21	-0,13	0,09	-0,03	0,08	-0,15	1,00			
Zn	-0,15	0,20	-0,27	-0,27	0,60	-0,19	-0,35	-0,45	0,42	-0,01	-0,19	-0,22	-0,07	-0,07	0,48	1,00		
Cr	-0,58	**0,63**	-0,35	-0,58	0,13	-0,33	-0,25	0,01	0,46	-0,09	-0,39	0,12	0,13	-0,03	-0,01	-0,07	1,00	
Ni	0,19	0,12	0,26	**0,65**	0,33	0,18	0,20	0,17	0,14	0,32	0,24	-0,03	-0,08	-0,48	-0,09	-0,13	-0,26	1,00

Πίνακας 5. Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα νερά των πηγών.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		**,625**
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	123,435
	df	55
	Sig.	**,000**

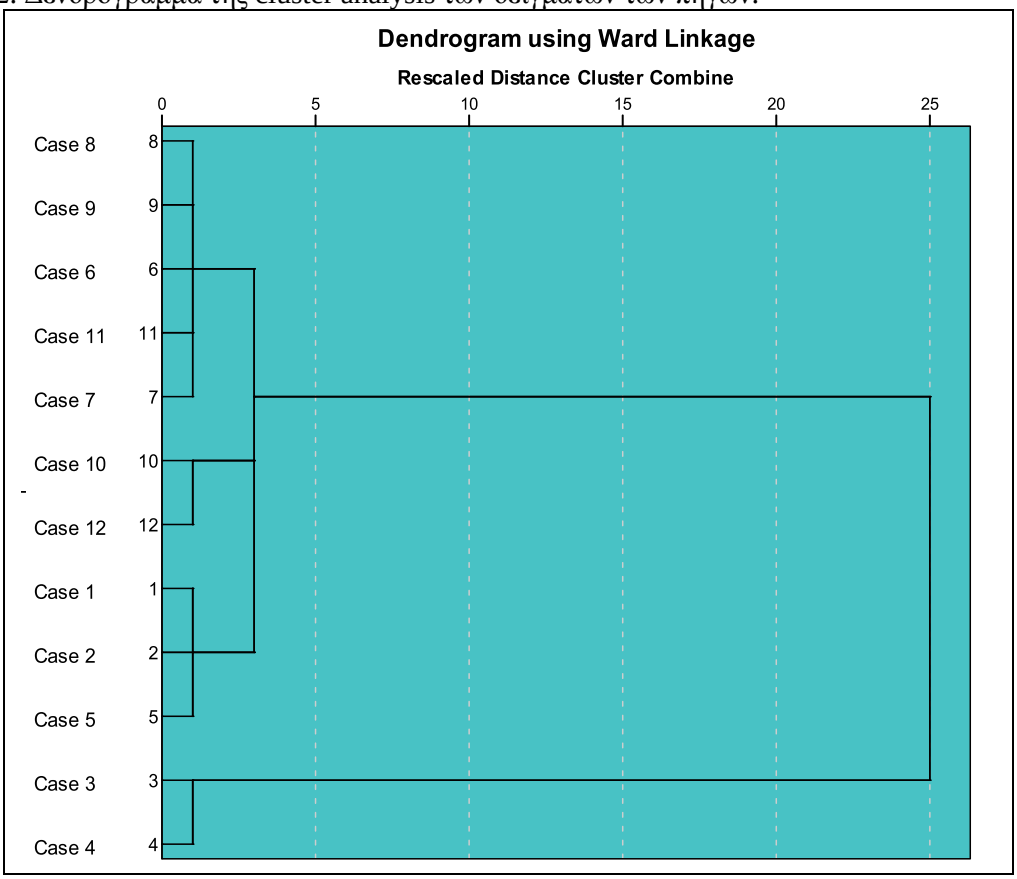
Πίνακας 6. Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα υπόγεια νερά υγρής περίοδου.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		**,509**
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	305,763
	df	45
	Sig.	**,000**

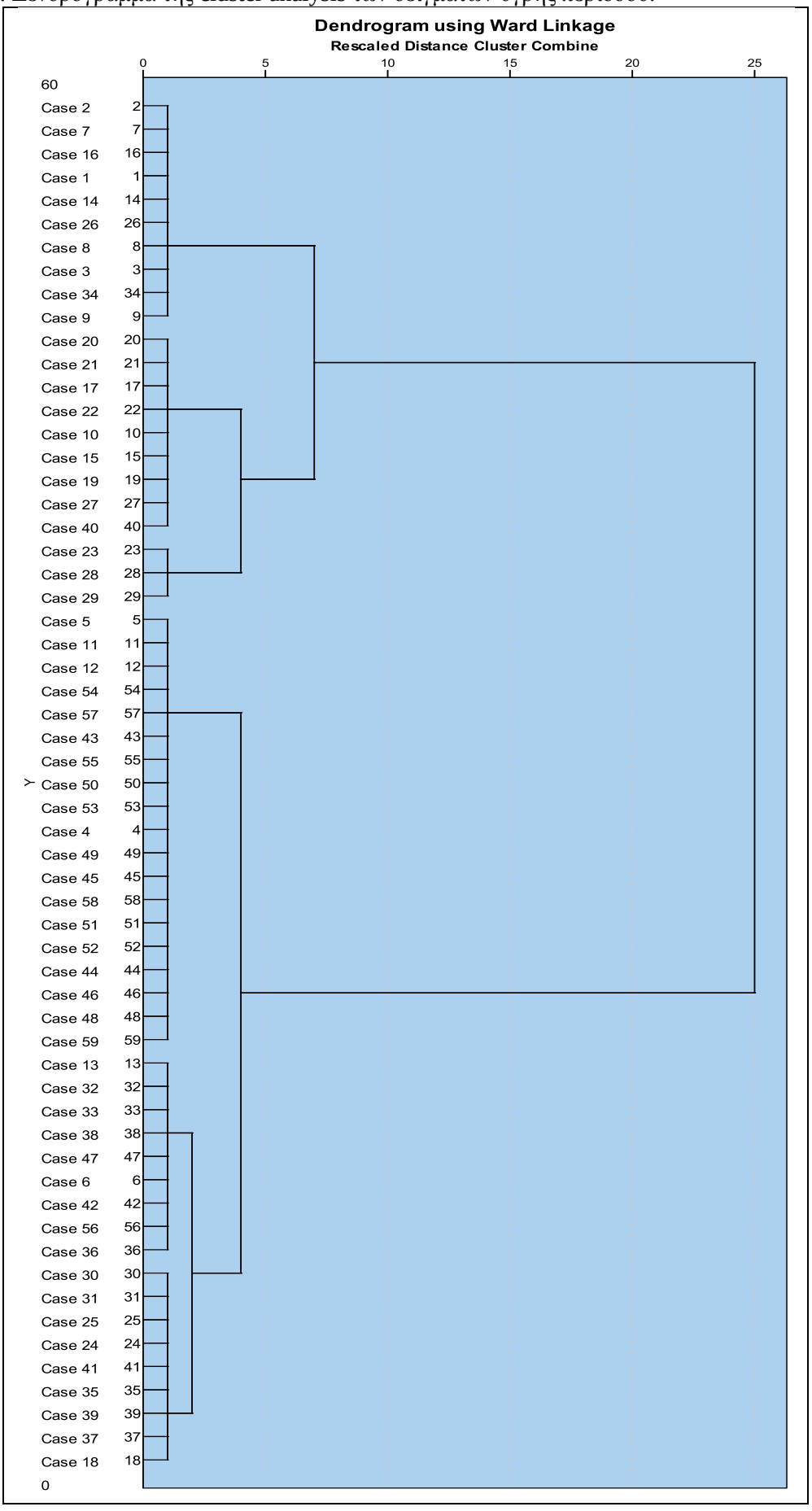
Πίνακας 7. Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα υπόγεια νερά ξηρής περίοδου.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		**,514**
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	110,087
	df	45
	Sig.	**,000**

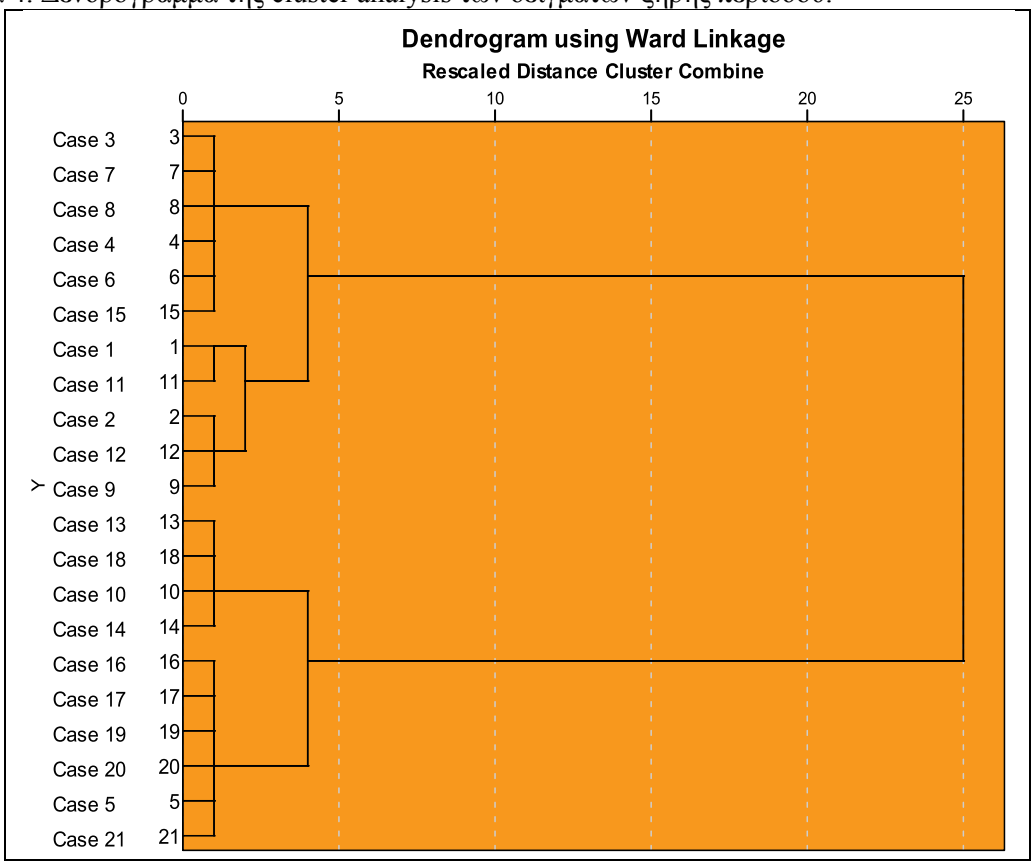
Σχήμα 2. Δενδρόγραμμα της cluster analysis των δειγμάτων των πηγών.



Σχήμα 3. Δενδρόγραμμα της cluster analysis των δειγμάτων υγρής περιόδου.



Σχήμα 4. Δενδρόγραμμα της cluster analysis των δειγμάτων ξηρής περιόδου.



Πίνακας 8. Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα επιφανειακά νερά της Τάφρου Ξυνιάδας.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		**,511**
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	62,717
	df	36
	Sig.	**,004**

Πίνακας 9. Ο δείκτης Kaiser-Meyer-Olkin και ο έλεγχος σφαιρικότητας Bartlett's για τα επιφανειακά νερά του Ενιππέα.

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		**,659**
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	44,502
	df	28
	Sig.	**,025**